

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-180646
 (43)Date of publication of application : 30.06.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

(21)Application number : 10-357284

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 16.12.1998

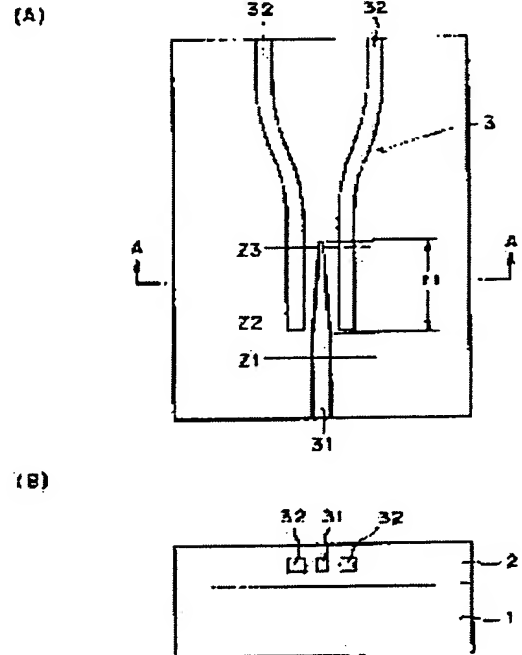
(72)Inventor : TABUCHI HARUHIKO

(54) OPTICAL CIRCUIT DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical circuit device for demultiplexing and multiplexing, capable of being relatively easily manufactured, having relative low wavelength dependency, and in which a cavity is not easily formed on a branch part.

SOLUTION: An optical circuit having a cladding part formed of a transparent film formed on a base plate and a band-shaped core part formed on a part of the cladding part and having the relative high refractive index is provided with at least one independent first core part 31 and at least two independent second cores 32. The first core part 31 has a part having the width gradually narrowed toward one direction, and the second core parts 32 are arranged on both sides of the part having the narrowed width of the first core part 31 along the first core part 31 so as to be separated from the first core part 31.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-180646

(P2000-180646A)

(43) 公開日 平成12年 6月30日 (2000. 6. 30)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 B 6/122

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テーマコード(参考)

A 2 H 0 4 7

D

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願平10-357284

(22) 出願日 平成10年12月16日 (1998. 12. 16)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 田淵 晴彦

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100075384

弁理士 松本 昂

Fターム(参考) 2H047 KA04 KA12 KA13 KB04 LA12

MA05 QA04 QA05 RA08 TA12

TA37 TA42 TA43

(54) 【発明の名称】 光回路装置

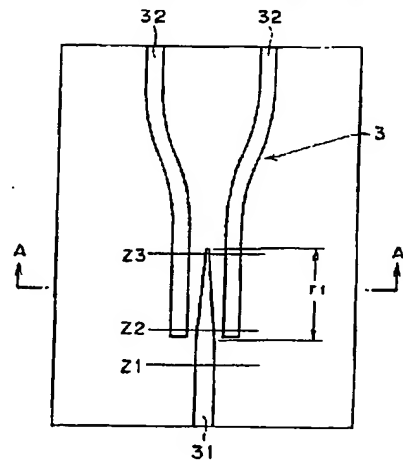
(57) 【要約】

【課題】 比較的製造が容易で且つ比較的波長依存性が小さく、更に分岐部に空洞ができにくい分岐・合波用光回路装置を提供することである。

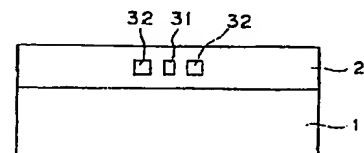
【解決手段】 基板上に形成された透明な膜よりなるクラッド部と、前記クラッド部の一部に形成された相対的に高い屈折率を有する帯状のコア部とを具備する光回路装置において、孤立した少なくとも1つの第1のコア部と、孤立した少なくとも2つの第2のコア部とを具備し、前記第1のコア部は一方向に進むに従って徐々に幅が狭くなる部分を有し、且つ前記第2のコア部が第1のコア部の少なくとも幅が減少する部分の両側にほぼ第1のコア部に沿って第1のコア部とは離れて配置するように構成する。

第 1 原理図及び第 1 実施形態

(A)



(B)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成された透明な膜よりなるクラッド部と、
前記クラッド部の一部に形成された相対的に高い屈折率を有する帯状のコア部とを具備する光回路装置において、
孤立した少なくとも 1 つの第 1 のコア部と、
孤立した少なくとも 2 つの第 2 のコア部とを具備し、
前記第 1 のコア部は一方向に進むに従って徐々に幅が狭くなる部分を有し、且つ前記第 2 のコア部が第 1 のコア部の少なくとも幅が減少する部分の両側にほぼ第 1 のコア部に沿って第 1 のコア部とは離れて配置されていることを特徴とする光回路装置。

【請求項 2】 少なくとも前記第 1 のコア部の幅が減少する部分の両側に位置する部分において、前記第 1 のコア部の幅が減少する方向に進むに従って前記第 2 のコア部はその幅が増大する部分を有することを特徴とする請求項 1 記載の光回路装置。

【請求項 3】 前記第 1 のコア部の最も幅が狭くなっている端部に、幅が一定の部分が存在することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の光回路装置。

【請求項 4】 前記第 2 のコア部の最も幅が狭くなっている端部に、幅が一定の部分が存在することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の光回路装置。

【請求項 5】 基板上に形成された透明な膜よりなるクラッド部と、
前記クラッド部の一部に形成された相対的に高い屈折率を有する帯状のコア部とを具備する光回路装置において、

孤立した少なくとも 1 つの第 1 のコア部と、
前記第 1 のコア部に沿って第 1 のコア部とは離れて配置された少なくとも 1 つの孤立したコア部である第 2 のコア部とを具備し、
前記第 1 のコア部と第 2 のコア部は一方向に進むに従って徐々に幅が広がる部分を有していることを特徴とする光回路装置。

【請求項 6】 前記第 1 のコア部及び第 2 のコア部の最も幅が狭くなっている端部に、幅が一定の部分が存在することを特徴とする請求項 5 記載の光回路装置。

【請求項 7】 前記第 1 のコア部と第 2 のコア部の屈折率が同じであることを特徴とする請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 つに記載の光回路装置。

【請求項 8】 前記第 1 及び第 2 のコア部の両方を内包する第 3 のコア部を更に具備し、
該第 3 のコア部は前記第 1 又は第 2 のコア部よりも低屈折率で且つクラッドよりも高屈折率であることを特徴とする請求項 7 記載の光回路装置。

【請求項 9】 一方向に進むに従って徐々に幅が狭くなる部分を有する孤立した第 1 のコア部と、
前記第 1 のコア部の少なくとも幅が減少する部分の一方

の側にほぼ第 1 のコア部に沿って第 1 のコア部とは離れて配置された孤立した第 2 のコア部と、
前記第 1 のコア部の少なくとも幅が減少する部分の他方の側にほぼ第 1 のコア部に沿って第 1 のコア部とは離れて配置された孤立した第 3 のコア部と、
前記第 1 のコア部の中のコア幅が一定の部分に該第 1 のコア部で取り囲まれて形成された、第 1 のコア部より高屈折率の第 4 のコア部と、
前記第 2 のコア部の中のコア幅が一定の部分に該第 2 のコア部で取り囲まれて形成された、第 2 のコア部より高屈折率の第 5 のコア部と、
前記第 3 のコア部の中のコア幅が一定の部分に該第 3 のコア部で取り囲まれて形成された、第 3 のコア部より高屈折率の第 6 のコア部と、
を具備したことを特徴とする光回路装置。

【請求項 10】 孤立した第 1 のコア部と、
前記第 1 のコア部の光軸の延長線上に該第 1 のコア部と回転対称位置に孤立して形成された第 2 のコア部と、
前記第 1 のコア部と第 2 のコア部の回転対称中心を通る直線を対称軸とする該第 1 のコア部に線対称な位置に形成された孤立した第 3 のコア部とを具備し；前記第 1、第 2、第 3 のコア部は、前記第 1 と第 2 のコア部の回転対称中心に向かうそれぞれの端部がテーパ状に細くなっていることを特徴とする光回路装置。

【請求項 11】 前記第 1 のコア部の中のコア幅が一定の部分に該第 1 のコア部で取り囲まれるように形成された第 1 のコア部より高屈折率の第 4 のコア部と、
前記第 2 のコア部の中のコア幅が一定の部分に該第 2 のコア部で取り囲まれるように形成された第 2 のコア部より高屈折率の第 5 のコア部と、
前記第 3 のコア部の中のコア幅が一定の部分に該第 3 のコア部で取り囲まれるように形成された第 3 のコア部より高屈折率の第 6 のコア部とを更に具備することを特徴とする請求項 10 記載の光回路装置。

【請求項 12】 基板に平行又は垂直な方向に電界が振動する光波を第 1 の偏波光、該第 1 の偏波光の振動方向に垂直な方向に電界が振動する光波を第 2 の偏波光とするとき、

前記第 1 の偏波光に対しては前記第 1 及び第 2 のコア部の屈折率が前記第 3 のコア部の屈折率よりも大きく、前記第 2 の偏波光に対しては前記第 1 及び第 2 のコア部の屈折率が前記第 3 のコア部の屈折率よりも小さいことを特徴とする請求項 8 記載の光回路装置。

【請求項 13】 基板上に形成された透明な膜よりなるクラッド部と、
前記クラッドの一部に形成された相対的に高い屈折率を有する帯状のコア部とを具備する光回路装置において、
少なくとも 1 つの曲がり部を有する基準コア部と、
少なくとも前記基準コア部の曲がり部分に対応する部分に形成されたコア部で且つ当該基準コア部に囲まれ

たインナーコア部とを具備し、
基板に平行又は垂直な方向に電界が振動する光波を第 1 の偏波光、該第 1 の偏波光の振動方向に垂直な方向に電界が振動する光波を第 2 の偏波光とすると、
前記第 1 の偏波光に対しては前記インナーコア部の屈折率が前記基準コア部の屈折率よりも大きく、前記第 2 の偏波光に対しては前記インナーコア部の屈折率が前記基準コア部の屈折率よりも小さいことを特徴とする光回路装置。

【請求項 14】 前記各コア部の配置形状が線対称であることを特徴とする請求項 1～8、請求項 12 及び 13 のいずれか 1 つに記載の光回路装置。

【請求項 15】 断面形状が矩形のコア部の周囲をクラッド部で取り囲んだ構造を有することを特徴とする請求項 1～14 のいずれか 1 つに記載の光回路装置。

【請求項 16】 コア部とクラッド部の材料が有機高分子材料であることを特徴とする請求項 1～15 のいずれか 1 つに記載の光回路装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光の分岐・合波を行うための光回路装置に関する。

【0002】本発明の光回路装置は、信号が重畳された光を 2 つ以上の方向に分けて多数の受信者に分配する用途（放送等）、波長が異なる複数の光ビームを合波し一本の光伝送路に伝送し、伝送路コストを低減させる用途、行きと帰りの光を一本の光伝送路で伝送する通信装置において帰りの光を分離し行きの光を伝送路に入射させる用途等に用いるのに適している。

【0003】

【従来の技術】従来の分岐・合波用光回路装置には、図 40 に例示するような Y 型のもの（第 1 の従来例）、又は図 41 に例示するような方向性結合器を用いるもの（第 2 の従来例）、又は図 42 に例示するような交差型分岐光回路を用いるもの（第 3 の従来例）がある。

【0004】ここに図 40（A）は第 1 の従来例の光回路装置の平面図、図 40（B）はその A-A 線断面図、図 40（C）はその B-B 線断面図である。また図 41（A）は第 2 の従来例の光回路装置の平面図、図 41（B）はその A-A 線断面図である。更に、図 42（A）は第 3 の従来例の光回路装置の平面図、図 42（B）はその A-A 線断面図、図 42（C）はその B-B 線断面図である。

【0005】図 40 に示す第 1 の従来例は、例えばシリコン基板 1 上に石英製のアンダークラッド層 2 の一部を形成し、その上に石英にリンやゲルマニウム等を添加して屈折率を高くした Y 形状を有するコア 3 を形成し、更にその上に石英製のクラッド層 2 の一部を被せた構造のものである。

【0006】その他の製造方法として、有機溶剤を含ん

で軟化した有機材料を塗布してクラッド層 2 の一部を形成し、次いでその上に不純物を添加したり組成を変えたりして屈折率を高くした Y 形状を有するコア 3 を形成し、更にその上に有機材料のクラッド層 2 の一部を被せる方法もある。

【0007】尚、このようにクラッド中に相対的に高屈折率のコア部を形成したものを以下光導波路という。

【0008】図 41 に示した第 2 の従来例は、2 つのコア 3a と 3b を近接させて配列させたものである。図 41 の光回路装置の材料及びコア 3a、3b の形成方法には第 1 の従来例と同じものを用いることができる。

【0009】図 42 の示した第 3 の従来例は、X 型に互いに交差したコア 3 で形成される枝 b1、b2、b3、b4 を有するものである。枝 b1 と b4 又は枝 b2 と b3 の交差角 α が小さい場合には、1 つの枝（例えば b1）から光を入射して交差する 2 つの枝（例えば b2 と b3）に光を分岐することができる。

【0010】交差角 α を大きくし、図 42（A）の C-C 線の位置に反射手段（例えば反射ミラー）を設け、例えば枝 b1 から光を入射させると、枝 b3 と枝 b4 に反射手段（例えば反射ミラー）の反射率と透過率に対応したパワー分離を行うことができる。

【0011】更に図 42（A）の C-C 線の位置にミラーの代わりにフィルタ膜を配置すれば波長分離回路となる。図 42 の光回路装置の材料及びコア 3 の形成方法には第 1 の従来例と同じものを用いることができる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】第 1 及び第 3 の従来例の光回路装置では、例えば Y 字状の分岐形状又は X 状の交差部を有するコア 3 を形成した後、上側のクラッド材料 2 を塗布しようとする、図 40（A）の C で表示した分岐部付根又は図 42（A）に D で表示した分岐部付根に図 40（C）の D 又は図 42（C）の E に表示したような空洞ができる問題がある。

【0013】第 2 の従来例の光回路装置では空洞ができにくくなる。しかし、第 2 の従来例の光回路装置は、2 つのコア 3a と 3b を伝搬する光の干渉効果を利用するものであり、干渉の大きさは、2 つのコア 3a と 3b が接近している部分の長さやコア 3a と 3b の間のギャップ幅 G の影響を受けるため、特定の分岐比を得ようとすると 2 つのコア 3a と 3b が接近している部分の長さ L やコア間ギャップ幅 G を $1\mu\text{m}$ 以下の高精度で制御する必要がある。

【0014】そのため製造が難しくなる問題がある。また光の干渉を利用するため、分岐特性の波長依存性が大きいという問題もある。

【0015】本発明は従来の問題点を解決し、比較的製造が容易で且つ比較的波長依存性が小さく、且つ分岐部に空洞ができにくい分岐・合波用光回路装置を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面によると、図1に示すように、基板1上に形成された透明な膜よりなるクラッド部2と、当該クラッド部の一部に形成された相対的に高屈折率でY字形状を有するコア部3とを具備する光回路装置において、Y字型のコア3を、孤立した少なくとも1つの第1のコア部31と、孤立した少なくとも2つの第2のコア部32とに分割し、第1のコア部31を分岐前の直線部分に、第2のコア部32を分岐後の2本の枝に割り当て、第1のコア部31に分岐側に進むに従って徐々に幅が狭くなる部分（第1の領域r1）を設け、且つ第2のコア部32を、第1のコア部31の第1の領域r1に沿って第1のコア部31とは離して形成した光回路装置が提供される。

【0017】この光回路装置は、第1の従来例のように先端が行き止まりになる分岐部が存在しないので、空気等が溜まることなく、従来例のような空洞ができにくくなる効果を生ずる。

【0018】また、この光回路装置は、一見図41に示した第2の従来例の方向性結合器による分岐回路に類似しているように見えるが、第1のコア部31の幅が徐々に狭くなる点が第2の従来例の光回路装置とは異なる。

【0019】第1のコア部31の幅を徐々に狭くすると、第1のコア部31の幅が狭くなった部分（第1の領域r1）では、第1のコア部31から第2のコア部32へ移行するパワーが第2のコア部32から第1のコア部31へ移行するパワーよりも大きくなる。

【0020】そのため製造精度が悪くても、第1のコア部31から両サイドの第2のコア部32へ、ほぼ均等に且つ効率よく光のパワーが移行されるようになる効果が生ずる。

【0021】本発明の第2の側面によると、図2に示すように、第1の側面の光回路装置において、第1のコア部31の第1の領域r1に沿った部分の第2のコア部32に、第2のコア部32の幅が徐々に増大する部分（第2の領域r2）を形成した光回路装置が提供される。

【0022】図1及び図40に示すように、コア3の形を変化させて光を分岐する光回路装置においては、急峻なコア形状変化があると導波されるモードの形状も急峻に変化させられる。

【0023】このモード形状の変化は、0次モードのパワーが高次の導波モードに移行することによって起こるが、高次の導波モードの多くは導波路の外に放射されるため、放射される高次モードに含まれる光パワーは損失となる。

【0024】よって、低損失化のためにはできるだけ導波モードの変化が小さくなるようにコアパターンを調整することが望ましい。

【0025】図2の構成においては、第2のコア部32の幅が狭い部分r2では第1のコア部31を伝搬する光

の第2のコア部32への結合は弱くなる。そのため、第1のコア部31だけの部分から第2のコア部に隣接する部分領域r1又はr2へ突入したときの導波モードの変形（すなわち生成される高次モードへのパワーの移行）が小さくなり、損失が低下する効果を生ずる。

【0026】本発明の第3の側面によると、図3に示すように、第1のコア部31の第1の領域r1の先端に幅が一定の部分（第3の領域r3）を付加した光回路装置が提供される。

【0027】第1の領域r1の先端に幅が一定の領域r3を形成すると、この部分（領域r3）を伝搬する光の導波モードの形状が安定化し、装置の特性が均一化する効果を生ずる。更に、この部分（領域r3）を伝搬する光の導波モードの左右の対称性が向上し、分岐強度比が均一化する効果を生ずる。

【0028】本発明の第4の側面によると、図4に示すように、第2のコア部32の第2の領域r2の先端に幅が一定の部分（第4の領域r4）を付加した光回路装置が提供される。

【0029】第1のコア部31のみが形成された部分（図4（A）の下端のz1と表記した部分）から第2のコア部32が形成された部分（図4（A）の下端のz2と表記した部分）に突入した光のモードは、第2のコア部32のために急激な外乱を受け脈動を起こすが、第2のコア部32の先端部に幅が一定の領域（第4の領域r4）を形成すると、光が第4の領域r4を伝搬する間に脈動が小さくなりやがて定常状態に安定する。

【0030】次いで、第2のコア部32の幅が徐々に広がっていく部分（第2の領域r2）を伝搬しながら第1のコア部31から第2のコア部32にパワーが滑らかに移行するため、損失が低減される効果を生ずる。

【0031】本発明の第5の側面によると、図5に示すように、基板1上に形成された透明な膜よりなるクラッド部2と、当該クラッド部2の一部に形成された相対的に高屈折率でY字形状を有するコア部3とを具備する光回路装置において、分岐する枝を孤立した少なくとも1つの第1のコア部31と、第1のコア部31に沿って第1のコア部31とは離れて配置された少なくとも1つの孤立したコア部である第2のコア部32とで構成し、当該第1のコア部31と第2のコア部32に分岐する方向に進むのに従って徐々に幅が広がる部分r1及びr2を含む光回路装置側提供される。

【0032】このように構成された光回路装置によると、第1のコア部31と第1のコア部32に向かって入射した光は第1のコア部31と第2のコア部32に結合し左右に分岐される。

【0033】この光回路装置には、図40に示した第1の従来例のように先端が行き止まりになる分岐部（図40（A）のC部）が存在しないので、空気等が溜まることなく、空洞ができにくくなる効果を生ずる。

【0034】また、第1のコア部31と第2のコア部32は分岐方向に向かって幅が徐々に広がる構造となっているため、第1のコア部31と第2のコア部32に結合する導波モードはその形状が緩やかに変化し、損失が低減される効果を生ずる。

【0035】本発明の第6の側面によると、図6に示すように、第1のコア部31の第1の領域r1の先端に幅が一定の部分(第3の領域r3)を付加し、且つ第2のコア部32の第2の領域r2の先端に幅が一定の部分(第4の領域r4)を付加した光回路装置が提供される。

【0036】第1の領域r1及び第2の領域r2の先端に幅が一定の領域(第3の領域r3及び第4の領域r4)を付加すると、この部分を伝搬する光の導波モードの形状が安定化し、過剰損失が低減される効果及びこの部分を伝搬する光の導波モードの左右の対称性が向上し、分岐強度比が均一化する効果を生ずる。

【0037】本発明の第7の側面によると、図1乃至図7に示された光回路装置において、第1のコア部31と第2のコア部32の屈折率を同じにした光回路装置が提供される。

【0038】第1のコア部31と第2のコア部32の屈折率を同じにすれば、全面にコア層を積層し、エッチング等により第1のコア部31と第2のコア部32を一度に形成することが可能となり、製造が容易になる効果を生ずる。

【0039】本発明の第8の側面によると、図4に示された光回路装置のコア部3を、図7に示すように、第1のコア部31と第2のコア部32の両方を内包する第3のコア部33を設けたものとし、且つ第3のコア部33を第1のコア部31又は第2のコア部32よりも低屈折率で且つクラッド2よりも高屈折率なものとした光回路装置が提供される。この光回路装置によると、第3のコア部33も光の閉じ込めに寄与するため損失が低下する効果を生ずる。

【0040】更に、図8に示すように、図5に示された光回路装置にこの構造を適用すると、分岐に入る手前(領域r5)では第3のコア部33とクラッド2によって導波路が構成され、分岐部(領域r6)では第3のコア部33をクラッドとし、第1のコア部31又は第2のコア部32をコアとする光導波路になる。

【0041】領域r5の光導波路はコア33とクラッド2の屈折率差(以下比屈折率差又は Δ という)が小さく、コアの断面積が大きい導波路(以下低 Δ ラージコアという)となるので、光ファイバ等の低 Δ ラージコアの光部品との結合に適した光導波路になる。

【0042】一方、分岐部(領域r6)では、比屈折率差が大きくコア部31又は32の断面積が小さい導波路(以下高 Δ スモールコアという)となる。

【0043】高 Δ スモールコアの光導波路は、コアに強

く光を閉じ込めるため、急峻に曲げた場合でも損失が増加しにくくなるため、曲がりを含む光回路装置を小型化することが可能になる。

【0044】以上のように構成することにより、光ファイバ等の他の工学部品との結合が容易で且つ小型の分岐部を有する光回路装置を実現する効果が生ずる。光回路装置が小型化されれば省スペースになる効果、1枚の基板から製造できる光回路装置の数が増加し、低コストになる等の効果を生ずる。

【0045】尚、図1乃至図5に示した光回路装置にこの構造を適用し、図10に示すようにY分岐を2段以上接続することもできる。図10において、31、31a、32は高屈折率のコア、33はクラッドよりも高屈折率でコア31、31a、32よりも低屈折率のコアである。このように構成すると、3つ以上に分岐する分岐光回路装置を小型化することができる。

【0046】本発明の第9の側面によると、図9に示すような光回路装置が提供される。この回路装置の特徴は以下の通りである。

【0047】(1) 孤立した第1のコア部31、孤立した第2のコア部32a、孤立した第3のコア部32bの少なくとも3つの孤立したコア部を有する。

【0048】(2) 第1のコア部31は一方向に進むに従って徐々に幅が狭くなる部分を有し、且つ第2のコア部32aと第3のコア部32bが第1のコア部31の少なくとも幅が減少する部分の両側にほぼ第1のコア部31に沿って第1のコア部31とは離れて配置されている。

【0049】(3) 第1のコア部31の中のコア幅が一定の部分に第1のコア部31で取り囲まれ第1のコア部31より高屈折率の第4のコア部31aを包含し、且つ第2のコア部32aの中のコア幅が一定の部分に第2のコア部で取り囲まれ第2のコア部より高屈折率の第5のコア部32cを包含し、且つ第3のコア部32bの中の幅が一定の部分に第3のコア部で取り囲まれ第3のコア部より高屈折率の第6のコア部32dを包含する。

【0050】この光回路装置は次のような作用効果を生ずる。すなわち、曲がり部に第4、第5及び第6のコア部があるため、第1、第2及び第3のコア部の屈折率を低くすることができる。

【0051】曲がり部ではコアの屈折率が低い場合、曲がりの曲率半径を小さくすると光がコアの外側に漏れ(放射され)易い。そのため、損失(放射損失という)が増加する。しかし、第4、第5及び第6のコア部を形成することにより光がしっかり閉じ込められ放射損失が低下する。

【0052】一方、第1のコア部の両側に第2及び第3のコア部が隣接している部分は直線なので第4、第5及び第6のコア部を除去しても損失は増加しない。第1のコア部の両側に第2及び第3のコア部が隣接し、第4、

第5及び第6のコア部がない部分では光の閉じ込めが弱いので、コアの幅を狭くすると光が容易に外部に漏れる。漏れた光は効率よく左右のコア部に結合し、低損失な光分岐回路を提供できる。

【0053】本発明の第10の側面によると、図11に示すような光回路装置が提供される。この光回路装置の特徴は以下の通りである。

【0054】(1) 孤立した第1のコア部34、孤立した第2のコア部36、孤立した第3のコア部38の少なくとも3つの孤立したコア部を有する。

【0055】(2) 第1のコア部34の光軸の延長線上に第1のコア部34と回転対称(回転対称中心「O」)の第2のコア部36が形成されている。

【0056】(3) 第1のコア部34に線対称な第3のコア部38が形成されている。対称軸は第1のコア部34と第2のコア部36の回転対称中心「O」を通る直線P-Pである。

【0057】(4) 第1のコア部34、第2のコア部36、第3のコア部38は、第1のコア部34と第2のコア部36の回転対称中心Oに向かう端部がテーパ状に細くなっている。

【0058】この構成によると以下のような作用効果を奏する。すなわち、第2のコア部36によって構成される第2の枝b2から光を入射させ、第1のコア部34によって構成される第1の枝b1方向に光を出射させると、交差角 α が小さい場合には光は枝b1と第3のコア部38によって構成される第3の枝b3に結合し、光パワーが分岐される。このように構成すると、コアパターン34、36、38の行き止まり部を無くすることができるため、空洞ができにくくなる効果を生ずる。

【0059】更に、対抗するコア部34、36、38の先端が細くなっているため、導波されるスポットサイズが拡大され、回折による光の広がりや抑制できるため、枝b1とb2又は枝b1とb3の間の結合損失が低下する効果を生ずる。

【0060】更に交差角 α を大きくし、図11のA-A部に反射ミラー又はフィルタ反射面を配置すれば、枝b1から入射した光を枝b2と枝b3に分配する光回路装置を構成することができる。

【0061】このような反射を用いて光を分配する光回路装置においても、対抗するコア部34、36、38の先端を細くすると導波されるスポットサイズが拡大され、回折によるビームの広がりが抑圧されるため、損失が低下する効果を生ずる。

【0062】また、スポットサイズを大きくすると、枝b1、枝b2又は枝b3から出射した光が反射ミラーで反射され、再び元の枝に戻るパワー(バックトーク)が低下する効果も生ずる。

【0063】更に、枝b3の端に高出力の光源を配置し、枝b2の端に高感度の受光素子を配置するような場

合には、枝b3から出射された光源の光の受光素子に接続された枝b2への漏れ込み(クロストーク)が抑圧される効果も生ずる。

【0064】この効果の確認のため、枝b1と枝b3の交差角を α 、枝b1と枝b2の間のギャップをdとして、図12にスポットサイズとクロストーク、スポットサイズとバックトーク及びスポットサイズと結合損失の関係を示す。

【0065】図12(A)に交差角 α の大きさとクロストークの関係を、図12(B)に交差角 α が0近傍の場合の枝間の結合効率を、図12(C)にギャップdの大きさと結合損失の大きさの関係を示す。

【0066】図12(A)は、交差角が大きい範囲ではたとえば枝b2から枝b3へのクロストークの大きさを示す。あるいは、枝b1から出射された光がA-A線上に形成された反射手段により反射され、再び枝b1へ結合する場合の結合効率(バックトーク)となる。

【0067】図12(B)は図12(A)の交差角が小さい領域を拡大したものである。この図に示すように交差角 α が0度近傍の場合には、枝b1から出射された光の枝b2への結合効率又は枝b1から出射された光がA-A上に形成された反射手段により反射され、枝b3へ結合する場合の結合効率となる。図12(A)及び図12(B)ではdを40 μ mとしている。

【0068】図12(C)は例えば枝b1と枝b2のギャップをdとしたときの、dの大きさと損失の関係を示すものである。A-A線に反射手段を配置したときには、dの大きさと枝b1と枝b3の結合効率の関係を示すものになる。図12(C)では交差角 α を0としている。

【0069】図12(A)、(B)、(C)において、曲線(a)はスポットサイズが3.5 μ mの場合、曲線(b)はスポットサイズが5 μ mの場合、曲線(c)はスポットサイズが8 μ mの場合、曲線(d)はスポットサイズが10 μ mの場合である。

【0070】図12(A)より、スポットサイズが大きいほどクロストークが小さくなるのがわかる。図12(B)より、スポットサイズが大きくなるほど損失が低下するのがわかる。図12(C)より、スポットサイズが大きくなるほど損失が低下するのがわかる。

【0071】以上説明したようにこの光回路装置においては、コアの先端が細くなっているためスポットサイズが拡大され、損失、クロストーク及びバックトークが低減される効果を生ずる。

【0072】本発明の第11の側面によると、図13に示すような光回路装置が提供される。本光回路装置は図11に示された光回路装置の変形例である。

【0073】すなわち、本発明の第11の側面によると、第1のコア部34のうちのコア幅が一定の部分に第1コア部34で取り囲まれ第1のコア部34より高屈折

率の第4のコア部35を包含し、第2のコア部36の内のコア幅が一定の部分に第2のコア部36で取り囲まれ第2のコア部36より高屈折率の第5のコア部37を包含し、第3のコア部38のうちのコア幅が一定の部分に第3のコア部38で取り囲まれ第3のコア部38より高屈折率の第6のコア部39を包含する光回路装置が提供される。

【0074】この構成によると、以下のような作用効果を奏する。すなわち、第4のコア部35、第5のコア部37、第6のコア部39の屈折率を高くすると、光導波路で構成される枝b1、b2、b3への光の閉じ込めを強く保ったままで第1のコア部34、第2のコア部36、第3のコア部38の屈折率を低くすることが可能である。

【0075】第1のコア部34、第2のコア部36、第3のコア部38の屈折率を低くし、第1のコア部34、第2のコア部36、第3のコア部38がテーパ状になっている部分に第4のコア部35、第5のコア部37、第6のコア部39が懸らないようにすれば、テーパ部への光の閉じ込めが更に弱められ、この部分を伝搬する光のスポットサイズを更に大きなものとすることができる。スポットサイズが大きくなるため、損失、クロストーク及びバックトークが更に低減される効果を生ずる。

【0076】本発明の第12の側面によると、図14及び図15に示すような光回路装置が提供される。図14(A)及び図15(A)は光回路装置の平面図、図14(B)と図15(B)はそれぞれ図14(A)及び図15(A)のB-B線断面図、図14(C)と図15(C)はそれぞれ図14(A)及び図15(A)のA-A線断面の第1の偏波光に対する屈折率分布、図14(D)と図15(D)はそれぞれ図14(A)及び図15(A)のA-A線断面の第2の偏波光に対する屈折率分布である。

【0077】ここにn32はコア部32の屈折率、n33はコア部33の屈折率である。また、コア部31の屈折率はコア部32の屈折率と同じである。

【0078】図14及び図15に示すように、本光回路装置の特徴は、図7及び図8に示された光回路装置を、基板1の表面1aに平行又は垂直な方向に電界が振動する光波を第1の偏波光、第1の偏波光の振動方向に垂直な方向に電界が振動する光波を第2の偏波光とすると、第1の偏波光に対しては第1のコア部31及び第2のコア部32の屈折率が第3のコア部33の屈折率よりも大きく、且つ第2の偏波光に対しては第1のコア部31及び第2のコア部32の屈折率が第3のコア部33の屈折率よりも小さいコア部31及び32を有する光回路装置とすることである。

【0079】本光回路装置の作用効果は以下の通りである。例えば、第1の偏波光をTE偏波光、第2の偏波光をTM偏波光とすれば、図14及び図15に示す光回路

装置は、TE偏波光をガイドするがTM偏波光をガイドしない光回路装置になる。

【0080】例えば図14(A)の光回路装置においては、第1のコア部31及び第2のコア部32は、TE偏波光に対しては第3のコア部33よりも高屈折率であるため光をガイドする。しかし、TM偏波光に対しては第1のコア部31及び第2のコア部32は第3のコア部33よりも低屈折率であるため光をガイドしない。

【0081】このため、本光回路装置はTE偏波光のみを伝搬し、且つ分岐する偏光子作用を有するものとなる。この性質を利用し、例えば図14(A)に例示するように、導波路の途中に溝4を形成し、1/4波長板7bをこの溝4中に挿入し、第1のコア部31からTE偏波光(例えば半導体レーザーの出力光)を入射させると、下から上に向かう光はTE偏波光であるためガイド・分岐されて上側の端部に到達する。

【0082】一方、上側の端部で反射された光は1/4波長板7bを往復することによりTM偏波光になり、そのためコアから漏洩する。その結果、端面からの反射光が除去される効果を生ずる。

【0083】図15に示した光回路装置は、図8に示した光回路装置に上述した構成を適用した例である。図15に示した光回路装置では、r5で表示した領域の光導波路が偏波無依存で且つ低Δラージコアの光導波路になる。r5よりも上方の領域は導波路型偏光子となる。

【0084】本発明の第13の側面によると、図16及び図17に示すような光回路装置が提供される。図16(A)及び図17(A)は光回路装置の平面図、図16(B)と図17(B)はそれぞれ図16(A)及び図17(A)のA-A線断面図、図16(C)と図17(C)はそれぞれ図16(A)及び図17(A)のA-A線断面の第1の偏波光に対する屈折率分布、図16(D)と図17(D)はそれぞれ図16(A)及び図17(A)のA-A線断面の第2の偏波光に対する屈折率分布を示している。ここに、n3aはコア部3aの屈折率、n3bはコア部3bの屈折率である。

【0085】すなわち、本発明の第13の側面によると、少なくとも1つの曲がり部を有するインナーコア部3aと、少なくとも当該インナーコア部3aを取り囲むアウターコア部3bとを具備し、基板に平行又は垂直な方向に電界が振動する光波を第1の偏波光、第1の偏波光の振動方向に垂直な方向に電界が振動する光波を第2の偏波光とすると、第1の偏波光に対してはインナーコア部3aの屈折率がアウターコア部3bの屈折率よりも大きく、且つ第2の偏波光に対してはインナーコア部3aの屈折率がアウターコア部3bの屈折率よりも小さくなるように構成した光回路装置が提供される。

【0086】この光回路装置は以下のような作用効果を奏する。すなわち、図14及び図15に示した光回路装置は、Y分岐型光回路の曲がり部分を導波路型偏光子と

したものであるが、導波路型偏光子の実現だけを目的とする場合には、図16あるいは図17に示すように偏波によって屈折率が変化するコアを有する曲がり導波路を少なくとも1個だけ形成すればよい。

【0087】例えば図16(A)の場合、上側の端からアウターコア3bにTE偏波光(例えば半導体レーザ6の出力光)を入射させれば、上から下に向かう光はアウターコア3b及びインナーコア3aにガイドされて下端まで伝搬する。

【0088】ここに、図16(A)に示すように例えば1/4波長板7bを下方に配置すると、端面で反射され上方に戻る光はTM偏波になり、インナーコア3aにはガイドされなくなる。その結果、反射光は光回路から漏洩し、反射光は除去される効果を生ずる。すなわち、導波路型偏光子及びそれに用いる光アイソレータが実現される。

【0089】図17に示した光回路装置は、インナーコア3aが上側の端まで達していることとアウターコア3bの形状が図16に示した光回路装置と異なる。上側に半導体レーザ6を配置し、下側に1/4波長板7bを配置すれば、図16に示した光回路装置と同様に光アイソレータとして作用する。

【0090】好ましくは、図1乃至図8、図14及び図15に示すように、光回路装置のコア部の配置を線対称とする。このようにコア部を線対称に配置すると、2つの枝に均等に光が分配される効果を生ずる。

【0091】好ましくは、断面形状が矩形のコア31, 32, 33, 3a, 3bの周囲をクラッドで取り囲んだ構造を有する光回路装置にする。このような構造とすると、最初にクラッド2とコア31, 32, 33, 3a, 3bとなるべき膜を形成した後、コア31, 32, 33, 3a, 3bを加工し、その上にクラッド2を堆積するという製造方法にすることが可能になる。コア31, 32, 33, 3a, 3bの加工精度が向上し、特性の均一化を図ることができる。

【0092】更に、第3のコア部33となるべき層と第1のコア部31及び第2のコア部32となるべき層を堆積した後、第1のコア部31及び第2のコア部32のパターンを形成し、次いで第3のコア部33となるべき層の上側に堆積した後、第3のコア部33のパターンを形成するという製造工程をとることが可能になる。

【0093】好ましくは、コア31, 32, 33, 3a, 3bとクラッド2の材料が有機高分子材料から形成される。材料に有機高分子を用いることにより、材料が安価になる。

【0094】更に、スピンコーター等により短時間に膜形成が可能であり、プロセス温度が低温になり、製造工程の制約が緩和される(例えば、高温に耐えない基板や金属性の配線パターンを形成した基板を使用することが可能になる)という効果を生ずる。

【0095】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1実施形態を示すものであり、図1(A)は平面図、図1(B)は図1(A)のA-A線断面図をそれぞれ示している。1は基板、2は光回路装置を構成する光導波路のクラッド、31と32は光回路装置を構成する光導波路のコア部である。すなわち、31は第1のコア部、32は第2のコア部である。

【0096】基板には、例えば石英ガラス、シリコン、セラミック、ポリイミド等、コアとクラッドにはガラス、PMMA、ポリイミド等を用いることができる。

【0097】クラッドとコアの材料にポリイミドを用いる場合には、例えば図18(A)～図18(D)に示すような工程で製作される。図18(A)に示すように、シリコン基板1上にスピンコーターを用いてクラッド形成用ポリイミドワニスを塗布し、加熱硬化させて厚さ5 μ m～30 μ mのクラッド2を形成する。

【0098】次いで、スピンコーターを用いて、コア形成用ポリイミドワニスを塗布後、加熱硬化させて厚さ5 μ m～8 μ mのコアとなるべき層3xを形成する。このときコアとなるべき層3xとクラッド2の屈折率差が0.3から0.8%となるようにポリイミドの組成を調整する。

【0099】次いで、図18(B)に示すようにフォトリソグラフィプロセスを用いてコアパターンと同じパターンのマスク3yを形成する。マスク3yには金属膜(例えばチタン、クローム、アルミニウム等の膜)や無機材料の膜(例えばSiO₂膜、SiN膜)や無機材料(例えばシリコン)を含むフォトレジスト等を用いる。金属膜の形成には真空蒸着等、SiO₂膜やSiN膜の形成にはプラズマCVD法等を用いることができる。

【0100】次に図18(C)に示すように、エッチングガスに酸素を用い、RIE(リアクティブ・イオン・エッチング)により、コアとなるべき層の内の残すべきコアパターン部31及び32以外のポリイミドを除去する。

【0101】マスク3yを除去した後、スピンコーターを用いてクラッド形成用ポリイミドワニスを塗布し、加熱硬化させて厚さ5 μ m～30 μ mのクラッド2とすることによって導波路が形成される。必要に応じて、他の加工及び切断を行い光回路装置が製造される。

【0102】尚、基板1にシリコン基板を用いると、一般にクラッド2とコア部31及び32に用いられるポリイミドの熱膨張係数が基板1よりも大きくなる。そのため、加熱硬化後に室温に戻すとクラッド2が上側に反るようになる。

【0103】この反りのために、場合によっては端の方からクラッド2が基板1より剥離する場合がある。これを防止するためには、図19に示すように、最も上側に

熱膨張係数が小さい層 2a を形成すればよい。

【0104】例えば、クラッド 2 の熱膨張係数が 40×10^{-6} 以上で厚さが $30 \mu\text{m}$ 以上の場合でも、層 2a として熱膨張係数が 4×10^{-6} 以下で厚さが $10 \mu\text{m}$ 以上のポリイミド膜を形成すると、クラッド 2 の剥離を有効に防止することができる。

【0105】コアの幅は、第 1 のコア部 31、第 2 のコア部 32 共に幅が一定の部分の幅が $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 、第 1 のコア部 31 の最も幅が狭くなっている部分の幅が $1 \mu\text{m}$ 、第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 の間隔は最も狭いところで $3 \mu\text{m}$ である。

【0106】また、本実施形態による光回路装置の第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 は左右対称になるように形成されている。第 1 のコア部 31 の幅が変化する領域（第 1 の領域 r1）の長さは 1mm である。

【0107】尚、理想的には第 1 のコア部 31 は図の上方に進むに従って極限まで狭くなるように形成するのが望ましい。しかし、実際には極限まで狭くすることは困難である。例えば、先端の幅が狭すぎる場合には細い部分に欠損を生ずる場合がある。

【0108】また、コア部 31 とクラッド 2 の熱膨張係数が異なる場合で、コア 31 に収縮力が働く場合には

（本実施形態でコア部 31 の形成に用いたポリイミドの熱膨張係数はクラッド 2 より小さいため収縮力が働く）、コアが押し縮められ蛇行する問題が生ずる場合がある。そこで本実施形態では、最も狭い部分の第 1 のコア部 31 の幅を $1 \mu\text{m}$ とした。コアの幅を $1 \mu\text{m}$ 以上とすれば上記のような問題が生ずることはない。

【0109】図 20 (A)、(B)、(C) に図 1 の z_1 、 z_2 、 z_3 の位置で導波される光の電界分布を示す。図 20 (A) が z_1 、図 20 (B) が z_2 、図 20 (C) が z_3 の位置の電界分布を示すものである。

【0110】第 1 のコア部 31 の幅は z_1 と z_2 で $7 \mu\text{m}$ 、 z_3 で $1 \mu\text{m}$ 、第 2 のコア部 32 の幅は z_2 と z_3 で $7 \mu\text{m}$ である。クラッド 2 の屈折率は 1.52、第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 の屈折率はともに 1.5261 である。

【0111】第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 とクラッド 2 の比屈折率差（コア部 31 又は 32 の屈折率とクラッド 2 の屈折率の差をクラッド 2 の屈折率で割った値の百分率）は約 0.4% である。

【0112】図 20 (A) に示されるように、 z_1 においては光は第 1 のコア部 31 のみにガイドされるので単峰の電界分布になる。 z_2 の位置では第 2 のコア部 32 との結合が起り、図 20 (B) に示すような電界分布に変化しようとする。

【0113】実際には図 20 (A) ～図 20 (B) に急激に変化することではなく、 $z_1 \sim z_2$ に進んだ光は z_2 の位置で二次モード及びそれよりも高次のモードを励振し、0 次モードの電界強度分布が図 20 (B) と同じに

なるように変化する。

【0114】このとき、二次モードより高次のモードは導波されないため放射モードになり、導波路外に放射される。この放射分は損失になる。0 次モード光は z_3 に進むに従って図 20 (C) に示すように双方性になり、第 2 のコア部 32 の間隔が広がるに従って左右に分離する。

【0115】本実施形態の光回路装置は分岐部に行き止まりとなる部分がないため、第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 を形成した後に上側のクラッド 2 を被着させたときに空洞が生成されにくくなるという効果を生ずる。

【0116】また、本光回路装置は第 2 の従来例のように 0 次モードと高次モードの干渉を利用して光を分岐するものではなく、第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 の幅の比を変えて第 1 のコア部 31 から第 2 のコア部 32 に光パワーを移動させるものである。

【0117】このような動作モードを用いることにより、分岐光が第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 の長さ（厳密には第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 が隣接する部分の長さ）と両者間のギャップの大きさに依存しなくなる効果を生ずる。

【0118】その結果、第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 が隣接する部分の両コア部の屈折率、両コア部の幅、両コア部間のギャップの幅及び隣接部の長さを精密に調整する必要がなくなり、製造が容易になる効果を生ずる。

【0119】尚、第 1 のコア部 31 のテーパ部（第 1 の領域 r1）を長くするに従って過剰損失が低減され、ある値（ 1mm 程度）より長くなると損失の低下が飽和する。

【0120】図 2 は本発明の第 2 実施形態を示すものであり、図 2 (A) が平面図、図 2 (B) が図 2 (A) の A-A 線断面図である。1 は基板、2 は光回路を構成する光導波路のクラッド、31 は第 1 のコア部、32 は第 2 のコア部である。

【0121】本実施形態の光回路装置が第 1 実施形態の光回路装置と異なる部分は、第 2 のコア部 32 の第 1 のコア部 31 に並走する部分（第 2 の領域 r2）の幅が上から下に向かって徐々に狭くなっていることである。

【0122】第 2 のコア部 32 の最も幅が狭くなっている部分の幅は $1 \mu\text{m}$ 、幅が変化している部分（第 2 の領域 r2）の長さは 1mm である。それ以外の材料、製造方法、クラッド 2 及びコア部 31 及び 32 の厚さと幅は第 1 の実施形態と同様である。

【0123】尚、理想的には第 2 のコア部 32 は図の下方に進むに従って極限まで狭くなるのが望ましい。しかし実際には、第 1 の実施形態における第 1 のコア部 31 と同様に、第 2 のコア部 32 を極限まで狭くすることは困難である。そこで本実施形態では第 2 のコア部 32 の

最も狭い部分の幅を $1\mu\text{m}$ とした。

【0124】図 21 (A), (B) 及び (C) に、図 2 の z_2 , z_3 , z_4 の位置で導波される光の電界分布を示す。図 21 (A) が z_2 、図 21 (B) が z_3 、図 21 (C) が z_4 における電界分布をそれぞれ示している。尚、 z_1 における電界分布は図 20 (A) と同じである。

【0125】第 1 のコア部 31 の幅は z_1 と z_2 で $7\mu\text{m}$ 、 z_3 で $3.5\mu\text{m}$ 、 z_4 で $1\mu\text{m}$ である。第 2 のコア部 32 の幅は z_2 で $1\mu\text{m}$ 、 z_3 で $3.5\mu\text{m}$ 、 z_4 で $7\mu\text{m}$ である。クラッド 2、第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 の屈折率は第 1 実施形態と同様である。

【0126】本実施形態では z_2 の位置における第 2 のコア部 32 の幅が狭いため、 z_2 の位置における第 2 のコア部 32 への光の結合は弱くなる。そのため、 z_2 の位置における電界分布は図 21 (A) に示すようなものとなる。

【0127】第 1 実施形態の場合と比較すると、 z_1 と z_2 の電界分布の変化が小さくなっていることがわかる。先に説明したように、 z_1 と z_2 の位置における電界分布の変化は高次モードが励振されることによって生ずる。

【0128】そして、一般に高次モードは放射され損失となるが、本実施形態では z_1 と z_2 の位置における電界分布の変化が小さいため、 z_2 で励振される高次モードのパワーが小さくなり、損失が低下する。

【0129】図 3 を参照すると、本発明の第 3 実施形態の光回路装置が示されている。図 3 (A) は平面図、図 3 (B) は図 3 (A) の A-A 線断面図である。1 は基板、2 は光回路を構成する光導波路のクラッド、31 は第 1 のコア部、32 は第 2 のコア部である。

【0130】本実施形態の光回路装置が第 2 実施形態の光回路装置と異なる部分は、第 1 のコア部 31 の先端部に幅が一定の領域 (第 3 の領域 r_3) を形成したことである。

【0131】第 1 のコア部 31 の最も幅が狭くなっている部分の幅は $1\mu\text{m}$ 、第 3 の領域 r_3 の長さは $300\mu\text{m}$ である。それ以外の材料、製造方法、クラッド 2 及びコア部 31 及び 32 の厚さと幅及び屈折率は第 2 実施形態と同様である。

【0132】光が第 1 のコア部 31 の第 3 の領域 r_3 を通過することにより、伝搬する光のモード形状が安定する。その結果、過剰損失が低下する効果と分岐比が安定化する効果を生ずる。

【0133】図 4 を参照すると、本発明第 4 実施形態の光回路装置が示されている。図 4 (A) は平面図、図 4 (B) は図 4 (A) の A-A 線断面図である。1 は基板、2 は光回路を構成する光導波路のクラッド、31 は第 1 のコア部、32 は第 2 のコア部である。

【0134】本実施形態の光回路装置が第 3 実施形態の

光回路装置と異なる部分は、第 2 のコア部 32 の最下部に幅が一定の領域 (第 4 の領域 r_4) を形成したことである。

【0135】第 2 のコア部 32 の最も幅が狭くなっている部分の幅は $1\mu\text{m}$ 、第 4 の領域 r_4 の長さは $300\mu\text{m}$ である。それ以外の材料、製造方法、クラッド及びコアの厚さと幅及び屈折率は第 3 実施形態と同様である。

【0136】光が第 2 のコア部 32 の第 4 の領域 r_4 を通過することにより、伝搬する光のモード形状が安定する。その結果、過剰損失が低下する効果と、分岐比が安定化する効果を生ずる。

【0137】図 5 を参照すると、本発明第 5 実施形態が示されている。図 5 (A) は平面図、図 5 (B) は図 5 (A) の A-A 線断面図である。1 は基板、2 は光回路を構成する光導波路のクラッド、31 は第 1 のコア部、32 は第 2 のコア部、3i は第 1 及び第 2 のコア部に光を導くための入射用コア部である。

【0138】本実施形態の光回路装置が第 1 実施形態の光回路装置と異なる部分は、第 1 実施形態の第 2 のコア部 32 の一方を第 1 のコア部 31 とし他方を第 2 のコア部としたこと及び第 1 実施形態の第 1 のコア部 31 に相当するものを除去したことである。

【0139】本実施形態の光回路装置の第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 の間隔は最も狭いところで $8\mu\text{m}$ 、第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 の最も幅が狭くなっている部分の幅は $1\mu\text{m}$ 、第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 の幅が変化している部分 (第 1 の領域 r_1 及び第 2 の領域 r_2) の長さは 1mm である。それ以外の材料、製造方法、クラッド及びコアの厚さと幅及び屈折率は第 1 実施形態と同様である。

【0140】図 22 (A), (B), (C) に図 5 の z_1 , z_2 , z_3 の位置で導波される光の電界分布を示す。図 22 (A) が z_1 、図 22 (B) が z_2 、図 22 (C) が z_3 の位置における電界分布に対応するものである。入射用コア部 3i の幅は $7\mu\text{m}$ 、第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 の幅は z_2 の位置で $1\mu\text{m}$ 、 z_3 の位置で $7\mu\text{m}$ である。

【0141】図 22 (A) に示すように、 z_1 の位置においては光は入射用コア部 3i のみにガイドされるので単峰の電界分布になる。 z_2 の位置では第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 との結合が起こるため、高次モードの励振及び高次モードの放射が起こる。

【0142】その結果、第 1 のコア部 31 及び第 2 のコア部 32 に導波されるモードが変形し、0 次モードは図 22 (B) に示すような電界分布となる。0 次モード導波光は z_3 の位置に進むに従って図 22 (C) に示すような双峰となり、更に進行して第 1 のコア部 31 と第 2 のコア部 32 の間隔が広がるに従って分離される。

【0143】本実施形態の光回路装置は、分岐部に行き止まりとなる部分がないため、第 1 のコア部 31 及び第

2のコア部32を形成後に上側のクラッド2を被着させたときに空洞が生成されにくくなる効果を生ずる。

【0144】また、本光回路装置は第2の従来例のように0次モードと高次モードの干渉を利用して光を分岐するものではなく、第1のコア部31と第2のコア部32に0次モードの光を結合させる動作モードを用いて分岐を行うものである。

【0145】このような動作モードを用いることにより、分岐光が第1のコア部31と第2のコア部32が隣接する部分の長さ、屈折率、ギャップの広さ等に依存しなくなる効果を生ずる。

【0146】その結果、第1のコア部31と第2のコア部32が隣接する部分のコアの屈折率、コアの幅、ギャップの幅及び並走部の長さを精密に調整する必要がなくなり、製造が容易になる効果を生ずる。

【0147】尚、第1のコア部31及び第2のコア部32のテーパ部（第1の領域r1及び第2の領域r2）を長くするに従って過剰損失が低減され、ある値（1mm程度）より長くなると損失の低下が飽和する。

【0148】図6を参照すると、本発明第6実施形態が示されている。図6（A）は平面図、図6（B）は図6（A）のA-A線断面図である。1は基板、2は光回路を構成する光導波路のクラッド、31は第1のコア部、32は第2のコア部、3iは第1及び第2のコア部に光を導くための入射用コア部である。

【0149】本実施形態の光回路装置が第5実施形態の光回路装置と異なる部分は、第1のコア部31及び第2のコア部32の幅が最も狭くなっている部分に幅が一定の部分（第3の領域r3及び第4の領域r4）を付加したことである。

【0150】幅の狭い部分では光の第1のコア部31及び第2のコア部32への結合が緩やかになるため電解分布の変化が小さくなり、放射損失が低減され、損失が低下する効果を生ずる。

【0151】図7を参照すると、本発明第7実施形態が示されている。図7（A）は平面図、図7（B）は図7（A）のA-A線断面図である。1は基板、2は光回路を構成する光導波路のクラッド、31は第1のコア部、32は第2のコア部、33は第3のコア部である。

【0152】本実施形態の光回路装置の構成は、第2実施形態の光回路装置の第1のコア部31と第2のコア部32を第3のコア部33で取り囲んだものと同じである。基板1には、例えば石英ガラス、シリコン、セラミック、ポリイミド等を、コアとクラッドにはガラス、PMMMA、ポリイミド等を用いることができる。

【0153】クラッド2とコア部31、32及び33の材料にポリイミドを用いる場合には、例えば図23及び図24に示すような工程により本実施形態の光回路装置を製造することができる。

【0154】図23（A）に示すように、シリコン基板

1上にスピンコーターを用いてクラッド形成用ポリイミドワニス塗布し、加熱硬化させて厚さ $5\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ のクラッド2を形成する。

【0155】次いで、スピンコーターを用いて第3のコア部を形成するためのポリイミドワニス塗布後、加熱硬化させて厚さ $1.5\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ の第3のコア部となるべき層3xを形成する（3xの第1回目の塗布）。このとき、コアとクラッドの屈折率差が $0.2\sim 0.4\%$ となるようにポリイミドの組成を調整する。

【0156】次いで、スピンコーターを用いて第1のコア部31及び第2のコア部32を形成するためのポリイミドワニス塗布後、加熱硬化させて厚さ $1.5\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ の第1のコア部31及び第2のコア部32となるべき層3zを形成する。

【0157】このとき、第3のコア部33となるべき層3xと、第1のコア部31及び第2のコア部32となるべき層3zの屈折率差が $0.4\sim 2\%$ となるようにポリイミドの組成を調節する。

【0158】次いで、図23（B）に示すように、フォトリソグラフィプロセスを用いて第1のコア部31及び第2のコア部32のパターンと同じパターンのマスク3yを形成する。マスクには金属膜や無機材料を含むフォトレジスト等を用いる。

【0159】次いで図23（C）に示すように、エッチングガスに酸素を用い、RIE（リアクティブ・イオン・エッチング）により第1のコア部及び第2のコア部となるべき層3zのうちの残すべきコアパターン部31及び32以外のポリイミドを除去する。

【0160】次いで図23（D）に示すように、マスク3yを除去した後、スピンコーターを用いて第1のコア部31及び第2のコア部32の上に第3のコア部を形成するためのポリイミドワニス塗布後、加熱硬化させ第3のコア部となるべき新たな層3xを積層形成する（3xの第2回目の塗布）。第1のコア部31及び第2のコア部32の上に形成する第3のコア部となるべき新たな層3xの厚さは $1.5\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ である。

【0161】次いで図23（E）に示すように、フォトリソグラフィプロセスを用いて第3のコア部33のパターンと同じパターンのマスク3yを層3x上に形成する。マスクには金属膜や無機材料を含むフォトレジスト等を用いる。

【0162】次いで図24（A）に示すように、エッチングガスに酸素を用い、RIE（リアクティブ・イオン・エッチング）により第3のコア部となるべき層3xのうちの残すべきコアパターン部以外のポリイミドを除去する。このとき、第1回目及び第2回目の塗布によって形成された層3xの両方がエッチングされるように十分深くエッチングする。

【0163】次いで図24（B）に示すように、マスク3yを除去した後、スピンコーターを用いてクラッド形

成用ポリイミドワニス塗布し、加熱硬化させて厚さ $5\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$ のクラッド 2 を形成することによって導波路を完成する。必要に応じて他の加工及び切断を行い、光回路装置が製造される。

【0164】尚、基板 1 にシリコン基板を用いると、一般にクラッド 2 とコア 3 1、3 2 及び 3 3 に用いられるポリイミドの熱膨張係数が基板 1 よりも大きくなる。そのため、加熱硬化後に室温に戻すとクラッド 2 が上側に反るようになる。

【0165】この反りのために、場合によっては端の方から基板より剥離する場合がある。これを防止するためには、図 24 (C) に示すように、最も上側に熱膨張係数が小さい層 2 a を形成すればよい。

【0166】例えば、クラッド 2 の熱膨張係数が 40×10^{-6} 以上で厚さが $30\mu\text{m}$ 以上の場合でも、層 2 a として熱膨張係数が 4×10^{-6} 以下で厚さが $10\mu\text{m}$ 以上のポリイミド膜を形成するとクラッドの剥離を有効に防止することができる。

【0167】本実施形態の光回路装置の第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部の厚さは $3\mu\text{m}$ で一定である。また、第 1 のコア部 3 1 と第 2 のコア部 3 2 の間隔は最も狭いところで $3\mu\text{m}$ 、第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 は第 1 の領域 r_1 及び第 2 の領域 r_2 を除き幅は $3\mu\text{m}$ で一定である。

【0168】第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 の最も幅が狭くなっている部分の幅は $1\mu\text{m}$ 、幅が変化している部分 (第 1 の領域 r_1 及び第 2 の領域 r_2) の長さは $500\mu\text{m}$ である。

【0169】第 3 のコア部 3 3 は厚さが $7\mu\text{m}$ 、最も下側の幅が一定の部分 (領域 r_3 1) の幅が $8\mu\text{m}$ 、領域 r_3 2 の部分の幅が $17\mu\text{m}$ 、領域 r_3 3 の部分の幅が $8\mu\text{m}$ である。

【0170】屈折率は、例えばクラッド 2 の屈折率が 1.52、第 3 のコア部 3 3 の屈折率が 1.52456 (クラッド 2 との比屈折率差 0.3%)、第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 の屈折率が 1.536 (第 3 のコア部 3 3 との比屈折率差 0.75%) である。

【0171】本実施形態の光回路装置では、第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 には行き止まりになる分岐点がないため空気等が溜まることがなくなり、空洞ができにくくなる効果を生ずる。

【0172】第 3 のコア部 3 3 には図 7 (A) で C と表示した部分に行き止まりになる分岐点が存在するが、幅が広い空洞ができにくくなる利点がある。更に、光は第 1 のコア部 3 1 又は第 2 のコア部 3 2 に閉じ込められるため、たとえ C 部に空洞ができたとしても殆どその影響を受けることがなくなる利点もある。

【0173】図 8 を参照すると、本発明第 8 実施形態が示されている。図 8 (A) は平面図、図 8 (B) は図 8 (A) の A-A 線断面図である。1 は基板、2 は光回路

を構成する光導波路のクラッド、3 1 は第 1 のコア部、3 2 は第 2 のコア部、3 3 は第 3 のコア部である。

【0174】本実施形態の光回路装置の構成は、図 5 に示した第 5 実施形態の光回路装置の入射用コア部 3 i を除去し、第 1 のコア部 3 1 と第 2 のコア部 3 2 を取り囲む新たな第 3 のコア部 3 3 を加えたものと同じである。また、本実施形態の光回路装置は、第 7 実施形態の光回路装置から第 1 のコア部 3 1 を除去したものと同一である。

【0175】本実施形態の光回路装置は、例えばクラッド 2 の屈折率が 1.52、第 3 のコア部 3 3 の屈折率が 1.52456 (クラッド 2 との比屈折率差 0.3%)、第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 の屈折率が 1.536 (第 3 のコア部 3 3 との比屈折率差 0.75%) とである。尚、本実施形態の光回路の材料に第 7 実施形態と同じ材料を用いれば、第 7 実施形態と同じ方法を用いて本実施形態の光回路装置を製造することができる。

【0176】図 25 (A)、(B)、(C) 及び図 26 (A)、(B) に図 8 の z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 及び z_5 の位置で導波される光の電界分布を示す。図 25 (A) が z_1 、図 25 (B) が z_2 、図 25 (C) が z_3 、図 26 (A) が z_4 、図 26 (B) が z_5 の位置における電界分布に対応するものである。

【0177】第 3 のコア部 3 3 の幅は z_1 で $8\mu\text{m}$ 、 z_2 で $14\mu\text{m}$ 、 z_3 で $16\mu\text{m}$ 、 z_4 で $18\mu\text{m}$ 、 z_5 で $22\mu\text{m}$ である。第 1 のコア部 3 1 と第 2 のコア部 3 2 の幅は z_2 で $1\mu\text{m}$ 、 z_3 で $2\mu\text{m}$ 、 z_4 と z_5 で $3\mu\text{m}$ である。

【0178】図 25 (A) に示すように、 z_1 においては光は第 3 のコア部 3 3 のみにガイドされるので単峰の電界分布になる。 z_2 の位置では第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 との結合がおこるため、高次モードの励振と放射により 0 次モードが変形し、図 25 (B) のような電界分布となる。

【0179】0 次モード光は z_3 、 z_4 、 z_5 に進むに従って図 25 (C)、図 26 (A)、図 26 (B) に示すように双峰になり、第 1 のコア部 3 1 と第 2 のコア部 3 2 の間隔が広がるに従って分離される。

【0180】本実施形態の光回路装置は第 1 のコア部 3 1 及び第 2 のコア部 3 2 の分岐部に行き止まりとなる部分がないため、コア部 3 1、3 2 を形成した後に上側のクラッド 2 を被着させたときに空洞が生成されにくくなる効果を生ずる。

【0181】第 3 のコア部 3 3 には図 8 (A) 中に C と表示した部分に行き止まりになる分岐点が存在するが、幅が広い空洞ができにくくなる利点がある。更に、光は第 1 のコア部 3 1 又は第 2 のコア部 3 2 に閉じ込められるため、たとえ C 部に空洞ができたとしてもほとんどその影響を受けなくなる利点がある。

【0182】また、本光回路装置は第2の従来例のように0次モードと高次モードの干渉を利用して光を分岐するものではなく、第1のコア部31と第2のコア部32に0次モードの光を結合させて分岐を行うものである。

【0183】そのため、分岐光が第1のコア部31と第2のコア部32が隣接する部分（領域r1及びr2）の長さに依存しなくなる効果を生ずる。その結果、第1のコア部31と第2のコア部32が隣接する部分（領域r1及び領域r2）のコアの屈折率、コアの幅、ギャップの幅及び並走部の長さを精密に調整する必要がなくなり、製造が容易になる利点がある。

【0184】更に本実施形態では、第5実施形態の入射用コア部3iに相当するものを低屈折率の第3のコア部33に置き換え、当該第3のコア部33で第5実施形態の第1のコア部31及び第2のコア部32に相当するものを取り囲む構造となっている。

【0185】このため、第5実施形態ではコア部が途切れることによって導波路が途切れる部分があるが、本実施形態では導波路が連続的になり、損失が低下する利点がある。

【0186】図9を参照すると、本発明第9実施形態が示されている。図9（A）は平面図、図9（B）は図9（A）のA-A線断面図である。1は基板、2は光回路を構成する光導波路のクラッド、31は第1のコア部、32aは第2のコア部、32bは第3のコア部、31aは第4のコア部、32cは第5のコア部、32dは第6のコア部である。

【0187】本実施形態によると、分岐部での第1のコア部31の光の閉じ込めを小さくすることができるので、効率良く第2のコア部32a及び第3のコア部32bに光パワーを分岐する効果が得られる。

【0188】図10を参照すると、本発明第10実施形態の光回路装置の平面図が示されている。本実施形態の光回路装置は、図8に示した第8実施形態の光回路装置に図7に示した第7実施形態の光回路装置を直列接続したものである。

【0189】本実施形態のコア部31とコア部31aは、それぞれ第8実施形態（図8）の第1のコア部31及び第2のコア部32に、更にコア部31aとコア部32はそれぞれ第7実施形態（図7）の第1のコア部31及び第2のコア部32に、コア部33は第7実施形態及び第8実施形態の第3のコア部33に対応する。このように光導波路を直列接続することにより、分岐の数を増やすことができる効果を生ずる。

【0190】図14を参照すると、本発明第11実施形態の光回路装置が示されている。図14（A）は平面図、図14（B）は図14（A）のB-B線断面図、図14（C）は図14（A）のA-A線に沿った位置のTE偏波光に対する屈折率分布、図14（D）は図14（A）のA-A線に沿った位置のTM偏波光に対する屈

折率分布を示す図である。

【0191】2は基板1上に形成されたクラッド、31は第1のコア部、32は第2のコア部、33は第1のコア部31と第2のコア部32を取り囲む第3のコア部、4はクラッド2を貫通し基板に形成された断面がU形状の溝、7bは1/4波長板、6は出力光の偏波がTE偏波の半導体レーザである。

【0192】ここに、第3のコア部33はクラッド2中に埋め込まれている。本実施形態の光導波路の曲がり部分は偏光子として動作する。そのため、次のような効果が得られる。すなわち、半導体レーザ6から出射された光は上側に向かうときには第1のコア部31と第2のコア部32にガイドされて伝搬する。

【0193】しかし、1/4波長板7bを通過して端面で反射された光はTM偏波光になるため、第1のコア部31と第2のコア部32ではガイドされずに外に放射される。その結果、導波路端面に反射対策を施さない場合でも、反射帰還光がレーザに戻らなくなり、半導体レーザ6の動作が安定化する。

【0194】図15を参照すると、第11実施形態の変形例である本発明第12実施形態が示されている。本実施形態は第3のコア部33に囲まれた第1のコア部31及び第2のコア部32の形状を図8に示すものと同じにしたものである。

【0195】本実施形態の場合にも、導波路端面に反射対策を施さない場合でも反射帰還光が半導体レーザ6に戻らなくなり、半導体レーザの動作が安定化する効果を生ずる。

【0196】図16を参照すると、本発明第13実施形態の光回路装置が示されている。光回路を偏光子とするためには、光回路を図16に示すように導波特性に偏波依存性のある曲がり導波路（あるいは曲がり部を持つコア部3a）を1つだけ形成したものによればよい。

【0197】このように構成すれば、半導体レーザ6から出射された光は下側に向かうときには内側のコア部3aにガイドされて伝搬し、1/4波長板7bを通過して導波路端面で反射された光は偏光面が変化し、コア部3aにガイドされずに外に放射されるようになる。その結果、導波路端面に反射対策を施さない場合にも、反射帰還光が半導体レーザ6に戻らなくなり、レーザの動作が安定化する。

【0198】図17を参照すると、第13実施形態の変形例である本発明第14実施形態が示されている。図16に示した実施形態とは半導体レーザ6側の端部まで内側のコア部3aを延長したことで外側のコア部3bの形状を変更したことが異なる。

【0199】内側のコア部3aを端部まで延長したので、導波路のスポットサイズを小さくすることが可能になる。そのため、半導体レーザ6から出射される光のスポットサイズが小さい場合でも、半導体レーザ6のモー

ドサイズと光導波路のモードサイズを一致させることが可能になる効果がある。両者のモードサイズを一致させると、結合効率が向上する。

【0200】図27を参照すると、本発明第15実施形態の平面図が示されている。2は基板上に形成されたクラッド、b1はクラッド中に形成された第1のコア部34で構成される第1の枝、b2はクラッド中に形成された第2のコア部36で構成される第2の枝、b3はクラッド中に形成された第3のコア部38で構成される第3の枝、4はクラッドと基板に形成された断面がU形状の溝、51と52はクラッドが除去され基板が露出した領域、61と62は光半導体素子、7は溝4中に挿入された光フィルタである。

【0201】更に、81、82、83、84、85、86はコア部を伝搬する光の記載位置における電界強度分布である。ここに、実際の光回路装置においては、コア部34、36、38はクラッド2の中に埋め込まれることが多い。

【0202】基板には例えばシリコン基板、石英基板、他成分ガラス基板、セラミックス、プラスチック等を用いることができ、クラッド材料には石英及びポリイミド、PMMA等の透明なプラスチック等を用いることができる。

【0203】更に、コアにはゲルマニウム、ホウ素、リン等の不純物を添加した石英あるいはクラッドに用いたものより高屈折率のプラスチックを用いることができ、光半導体素子には半導体レーザやフォトダイオード、光フィルタにはガラスやポリイミド基板に誘電体多層膜を被着させた誘電体多層膜フィルタ等を用いることができる。

【0204】クラッドに石英を用いる場合、不純物としてフッ素を添加すると屈折率が低下する。この場合、コアに純粋な石英を用いることができる。

【0205】ポリイミド及びPMMA等のプラスチックでも、C-H結合等のHをフッ素(F)に置き換えると、屈折率が低下することが知られている。これを利用し、フッ素の置換量を制御して屈折率を制御し、クラッド用材料とコア用材料とすることもできる。

【0206】光回路装置を構成する導波路のコア部34、36、38は例えば図28に示すような手順で形成する。まず図28(A)に示すように、基板1上にクラッドとなる石英又はプラスチックの膜2を形成する。石英の場合はCVD法等を、プラスチックの場合にはスピンコーティング法等を用いることができる。

【0207】次いで、クラッド形成と同じ方法でコア用材料の膜3xを形成する。次いで図28(B)に示すように、フォトリソグラフィでコア部と同じパターンを有するマスク3yを形成する。次いで図28(C)に示すように、ドライエッチングでコア部34、36、38を形成する。

【0208】エッチング用マスク3yにはアモルファスシリコン膜、フォトレジスト、金属薄膜等を、エッチングにはCF-4ガスや酸素ガスによるRIE(リアクティブ・イオン・エッチング)等を用いることができる。

【0209】最後に図28(D)に示すように、最初のクラッド2の形成と同じ方法で上側のクラッド2を形成し、コア部34、36、38を埋め込む。図27の領域51及び52は、コア部を形成する際のエッチングと同様に、周辺をマスクしRIEでエッチングすることにより形成することができる。溝4はダイシングソー等で研削することにより形成する。

【0210】コア部34、36、38の寸法は、例えばポリイミドを用いる場合、幅が広い部分の幅が7 μ mで一定、テーパ部の先端幅は2 μ m、コアの厚さは7 μ m、導波路間のギャップdは60 μ m、交差角(図11の α)は20°、溝4の幅は30 μ m、フィルタ7の厚さは20 μ m、クラッドの屈折率は1.52、コアの屈折率は1.5261、コアとクラッドの比屈折率差は0.4%である。

【0211】本実施形態の光回路装置は、例えばフィルタ7に λ 1透過、 λ 2反射のものを用い、光半導体素子61に発振波長 λ 2の半導体レーザ、光半導体素子62に発振波長 λ 1の半導体レーザを用いれば、波長 λ 1と λ 2の光を合波する光回路装置となる。

【0212】また、フィルタ7に λ 1透過、 λ 2反射のものを用い、光半導体素子61に発振波長 λ 2の半導体レーザ、光半導体素子62にフォトダイオードを用いれば送受信光回路装置となる。更に、フィルタ7に λ 1透過、 λ 2反射のものを用い、光半導体素子61と62にフォトダイオードを用いれば、2波長受信用光回路装置となる。

【0213】本実施形態によれば、コア部34、36、38に行き止まりとなる部分がなくなるため、第3の従来例のように空洞ができなくなる。また、コア部34、36、38の先端をテーパ形状にしたため、結合損失、クロストーク及びバックトークを低減することができる。

【0214】図29を参照すると、本発明第16実施形態の平面図が示されている。本実施形態の光回路装置の構成は、図27に示した光回路装置に類似しているが、コア部34、36、38の屈折率を1.5238(コア部とクラッドとの比屈折率差は0.25%)とし、コア部34、36、38の幅を10 μ mまで広くしたこと、第1のコア部34の中に第4のコア部35を、第2のコア部36の中に第5のコア部37を、第3のコア部38の中に第6のコア部39を形成したことが異なる。

【0215】コア部35、37、39はコア部34、36、38の中にそれぞれ埋め込まれている。コア部35、37、39の屈折率は1.532、コア部34、36、38とコア部35、37、39の比屈折率差は0.

75%である。コア部35, 37, 39は両端がテーパ状になっており、テーパ先端の幅が $1\mu\text{m}$ 、テーパ部以外の部分の幅が $4\mu\text{m}$ である。

【0216】本実施形態の光回路装置は図30及び図31に記載の工程により形成することができる。具体的には、図30(A)に示すように、基板1の上にクラッド2と、コア部34, 36, 38の下側の層となるべき層3xと、コア部35, 37, 39となるべき層3zを形成する。

【0217】次いで、図30(B)に示すように、フォトリソグラフィプロセスを用いてコア形成用マスクパターン3yを形成する。次いで図30(C)に示すように、RIE(リアクティブ・イオン・エッチング)でコア部35, 37, 39を形成する。

【0218】次いで図30(D)に示すように、コア部34, 36, 38の上側の層を被着させ、更に図30(E)に示すように、フォトリソグラフィプロセスを用いてコア形成用マスクパターン3yを形成する。

【0219】次いで図31(A)に示すように、RIEでコア部34, 36, 38を形成する。次いで図31(B)に示すように、コア部34, 36, 38をクラッド2で埋め込むことにより、本実施形態の光回路装置を構成する導波路が形成される。それ以外の工程は図27に示した実施形態と同様である。

【0220】光導波路はコアとクラッドの比屈折率差を小さくすると、コアへの光の閉じ込めが弱くなりガイドされる光のスポットサイズが大きくなる。しかし、コアとクラッドの比屈折率差を小さくするとコアへの光の閉じ込めが弱くなるため、曲がり導波路においては曲がり部の曲率半径を大きくしなければ放射損失が増加する。

【0221】このような制限のために光回路を小型化した場合には比屈折率差を大きくし、導波されるビームのスポットサイズを小さくしていた。そのため、図27に示したような光回路装置の低損失化には限界があった。

【0222】しかし、本実施形態ではコア部34, 36, 38の中に高屈折率のコア部35, 37, 39を形成したので、コア部34, 36, 38とクラッド2の比屈折率差を小さくすることが可能になった(あるいは比屈折率差を小さくしても曲がり部の曲率半径を小さくすることが可能になった)。

【0223】本実施形態の光回路装置では、コア部34, 36, 38とクラッド2の比屈折率差が小さいため、テーパ部先端でのスポットサイズが大きくなり、結合損失、クロストーク及びバックトークが低減される効果を生ずる。

【0224】図32を参照すると、図29の実施形態の変形例である本発明第17実施形態の平面図が示されている。図32に示した光回路装置は、フィルタ7aとしてその全体の幅が基板1の幅と同じでかつフィルタ7aを構成する基板71の光が通過する部分の両側に金属膜

72を被着させたものを用いるものである。

【0225】フィルタ7aの幅と基板1の幅を同じにしたので、(金属膜72が被着させられていない場合でも図29に示した実施形態と比較して)手前のクラッドから後方のクラッドに(フィルタを介さずに)漏洩する光が遮光される効果を生ずる。

【0226】更に、光が通過する部分以外の部分を金属膜72で覆っているため、フィルタ7aの左右の無効な部分を通過する光が遮断され、クロストークを低減することができる。

【0227】尚、この光回路装置のアイソレーションは図33に示すようなフォトダイオードを用いて改善することが可能である。図33は図27、図29、図32に示す光回路装置の光半導体素子61又は62に用いたとき、更にアイソレーションを改善することが可能なフォトダイオードの構成を示したものである。

【0228】波長 λ_1 と λ_1 より長波長の λ_2 の光を取り扱う装置の場合を想定したとき、図33(A)は波長 λ_1 の信号を選択的に受信するフォトダイオード61aに、図33(B)は波長 λ_2 の信号を選択的に受信するフォトダイオード62aになる。

【0229】これらのフォトダイオードの構造を説明すると、図33(A)において、611は波長 λ_1 と λ_2 の光に対して透明な第1導電型半導体基板、612は波長 λ_1 と λ_2 の光に対して透明な第1導電型半導体によるバッファ層、613は波長 λ_1 の光に対する吸収係数が波長 λ_2 の光に対する吸収係数よりも大きいノンドープ半導体による光吸収層、614は光吸収層よりも大きいバンドギャップを有する第1導電型半導体層、615は半導体層614の伝導型を反転させた領域である。

【0230】図33(B)において、621は波長 λ_1 と λ_2 の光に対して透明な第1導電型半導体基板、622は波長 λ_1 の光に対する吸収係数が波長 λ_2 の光に対する吸収係数よりも大きい第1導電型半導体によるフィルタ層、623は波長 λ_2 の光を吸収するノンドープ半導体による光吸収層、624は光吸収層よりも大きいバンドギャップを有する半導体層、625は半導体層624の伝導型を反転させた領域である。

【0231】例えば λ_1 が $1.3\mu\text{m}$ 、 λ_2 が $1.55\mu\text{m}$ のとき、基板611及び621にはn-InP基板を用い、バッファ層612にはn-InP層を用い、フィルタ層622にはバンドキャップエネルギーが $0.82\text{eV}\sim 0.92\text{eV}$ のn-InGaAsP層を用いる。

【0232】更に、吸収層613にはバンドキャップエネルギーが $0.82\text{eV}\sim 0.92\text{eV}$ のノンドープInGaAsP層を用い、吸収層623にはバンドキャップエネルギーが 0.8eV 以下のノンドープInGaAsP層又はノンドープInGaAs層を用い、半導体層614及び624にはn-InP層を用い、導電型反転領域615及び625の形成には亜鉛の熱拡散を用いれ

ばよい。

【0233】吸収層613は波長 $1.5\mu\text{m}$ ～ $1.35\mu\text{m}$ より短い波長の光を選択的に吸収するので、雑音として混入する波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対するアイソレーションが向上する。

【0234】一方、フィルタ層622は波長 $1.5\mu\text{m}$ ～ $1.35\mu\text{m}$ より短い波長の光を選択的に吸収するので、雑音として混入する波長 $1.31\mu\text{m}$ の光に対するアイソレーションが向上する。

【0235】更に図34に示すように、図33(B)に示したフォトダイオード62aを、基板1の表面に平行な面内で傾斜させると、光がフィルタ層622を通過する距離が長くなり、アイソレーションが更に向上する。

【0236】図35を参照すると、図7に示した第7実施形態の変形例である本発明第18実施形態が示されている。図35(A)が平面図、図35(B)が図35(A)のA-A線断面図である。

【0237】本実施形態の光回路装置は、図7に示した第7実施形態の光回路装置に、当該光回路装置を構成する第2のコア部32の一部を加熱する手段を付加したものである。

【0238】加熱手段は具体的にクロームの薄膜による電気ヒータ9である。電気ヒータ9に電流を流し、局部的に加熱すると、熱光学効果により第2のコア部32の屈折率が変化する。プラスチック導波路の場合には加熱すると屈折率が低下する。

【0239】屈折率が低下した側のコアは光をガイドしなくなるため、ほとんどの光パワーが加熱しない側に移動する。この作用を利用して光スイッチを構成することができる。

【0240】本実施形態の光回路装置の特徴は第2のコア部32が第3のコア部33で取り囲まれていることである。このように構成することにより、クロームヒータ9との光学的アイソレーションが向上する効果を生ずる。

【0241】従来のものと比較すると、例えば図2に示すような単純なコア部31及び32とクラッド2からなる光回路は、コアとクラッドの構成に関しては従来の光回路構成と見なすことができる。

【0242】この光回路の表面にクローム薄膜等の金属膜を形成すると、コア部31又は32からクラッド2に染み出した光とクローム膜(金属膜)との相互作用を生じ、光回路の伝搬損失が増加する。

【0243】これに対して図35に示した光回路の場合には、内側のコア部32と第3のコア部33によって構成される光導波路が強く光を閉じ込めるので、ヒータ部への光の染み出しが少なくなる。そのため損失が低下する効果を生ずる。

【0244】図8に示した第8実施形態の光回路装置についても、第1のコア部31及び第2のコア部32の一

部を加熱する手段を付加することにより、光スイッチとすることができる。

【0245】例えば、図36に示す第19実施形態のように、クローム薄膜ヒータ9による加熱手段を加えればよい。この場合にも、ヒータ部9への光の染み出しが少なくなるため損失が低下する効果を生ずる。

【0246】尚、コアを二重にすることによって光のヒータ部9への染み出しを少なくし損失を低減させる方法は、図37に示した第20実施形態のような繋がった分岐コア31を有する導波路からなる光回路装置にも適用可能なことはいうまでもない。

【0247】図38を参照すると、図35に示した実施形態の変形例である本発明第21実施形態が示されている。即ち、損失の増加が許容できる場合には、図38に示すように加熱用クロームヒータ9をクラッド中に埋め込んだものとする、スイッチの消費電力を低減できるという他の効果が得られる。

【0248】ヒータ9がコア31に接近する効果と、ヒータが埋め込まれて断熱される効果により、少ない電力で所定の温度にコア31を加熱することが可能になるからである。ここに、91はクラッド2に埋め込まれた電極9を露出させるためにクラッド2に形成された穴である。

【0249】尚、光導波路のコア部31、32及び33とクラッド2を構成する材料が基板に比べて熱膨張係数が大きい場合には、ヒータ9の上にコア部31、32、33及びクラッド2よりも熱膨張係数が小さい材料を積層した層2aを形成し、この層2aでヒータ9を埋め込むと、コア部31、32及び33とクラッド2の不均一な収縮を防止することができる。

【0250】ここでいう不均一な収縮とは、基板1側は収縮せず表面のみが収縮するような収縮形態のことである。不均一な収縮が起こると、基板1からクラッド2が剥離し易くなるが、ヒータ9の上に熱膨張係数が小さい材料を積層することにより不均一な収縮が防止され、クラッドの剥離を防止することができる。

【0251】尚、ヒータ9を埋め込むことにより消費電力を低減させる方法は、第21実施形態の変形例である図39に示す第22実施形態のように、分岐するコア31が繋がった導波路を有する光回路装置にも適用可能なことはいうまでもない。

【0252】

【発明の効果】本発明によれば、比較的製造が容易で且つ比較的波長依存性が小さく、更に分岐部に空洞ができにくい分岐・合波用光回路装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1原理図及び第1実施形態を示す図である。

【図2】第2原理図及び第2実施形態を示す図である。

【図3】第3原理図及び第3実施形態を示す図である。

【図 4】第 4 原理図及び第 4 実施形態を示す図である。
 【図 5】第 5 原理図及び第 5 実施形態を示す図である。
 【図 6】第 6 原理図及び第 6 実施形態を示す図である。
 【図 7】第 7 原理図及び第 7 実施形態を示す図である。
 【図 8】第 8 原理図及び第 8 実施形態を示す図である。
 【図 9】第 9 原理図及び第 9 実施形態を示す図である。
 【図 10】第 10 原理図及び第 10 実施形態を示す図である。
 【図 11】第 11 原理図である。
 【図 12】第 11 原理図の作用を説明する図である。
 【図 13】第 12 原理図である。
 【図 14】第 13 原理図及び第 11 実施形態を示す図である。
 【図 15】第 14 原理図及び第 12 実施形態を示す図である。
 【図 16】第 15 原理図及び第 13 実施形態を示す図である。
 【図 17】第 16 原理図及び第 14 実施形態を示す図である。
 【図 18】第 1 実施形態の光回路装置に用いられる光導波路の製造工程を示す図である。
 【図 19】熱膨張係数が小さい層を付加した光導波路の断面図である。
 【図 20】第 1 実施形態の光導波路に励振される導波モードを示す図である。
 【図 21】第 2 実施形態の光導波路に励振される導波モードを示す図である。
 【図 22】第 5 実施形態の光導波路に励振される導波モードを示す図である。
 【図 23】第 7 実施形態の光回路装置に用いられる光導波路の製造工程を示す図である（その 1）。
 【図 24】第 7 実施形態の光回路装置に用いられる光導波路の製造工程を示す図である（その 2）。
 【図 25】第 8 実施形態の光導波路に励振される導波モ

ードを示す図である（その 1）。

【図 26】第 8 実施形態の光導波路に励振される導波モードを示す図である（その 2）。

【図 27】第 15 実施形態を示す図である。

【図 28】第 15 実施形態の光回路装置に用いられる光導波路の製造工程を示す図である。

【図 29】第 16 実施形態を示す図である。

【図 30】第 16 実施形態の光回路装置に用いられる光導波路の製造工程を示す図である（その 1）。

【図 31】第 16 実施形態の光回路装置に用いられる光導波路の製造工程を示す図である（その 2）。

【図 32】第 17 実施形態を示す図である。

【図 33】第 15 及び第 16 実施形態に用いることのできるフォトダイオードの断面図である。

【図 34】フォトダイオードの実装方法を示す図である。

【図 35】第 18 実施形態を示す図である。

【図 36】第 19 実施形態を示す図である。

【図 37】第 20 実施形態を示す図である。

【図 38】第 21 実施形態を示す図である。

【図 39】第 22 実施形態を示す図である。

【図 40】第 1 従来例を示す図である。

【図 41】第 2 従来例を示す図である。

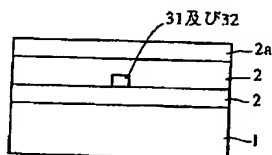
【図 42】第 3 従来例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 光導波路のクラッド
- 3 光導波路のコア
- 31, 34 第 1 のコア部
- 32, 32a, 36 第 2 のコア部
- 32b, 33, 38 第 3 のコア部
- 35, 31a 第 4 のコア部
- 37, 32c 第 5 のコア部
- 39, 32d 第 6 のコア部

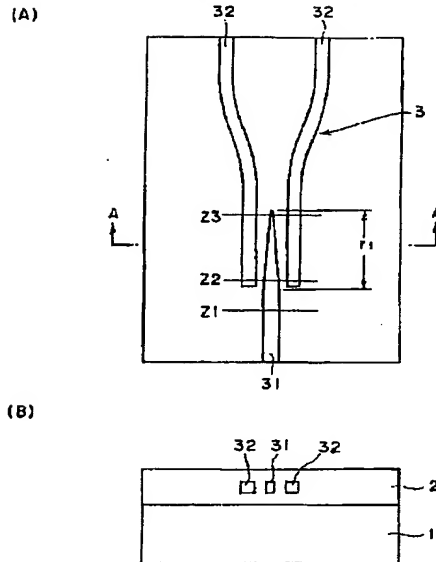
【図 19】

熱膨張係数が小さい層を付加した光導波路



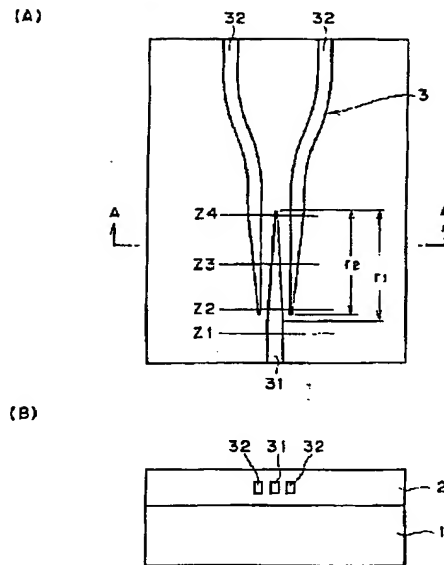
【図 1】

第 1 原理図及び第 1 実施形態



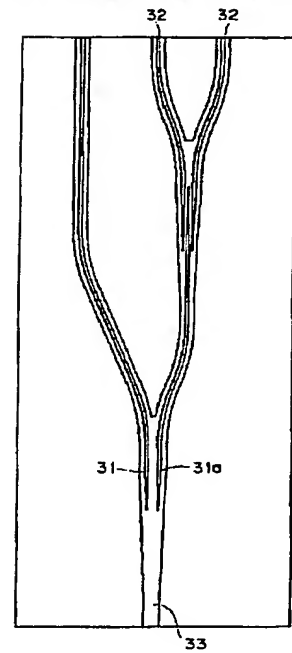
【図 2】

第 2 原理図及び第 2 実施形態



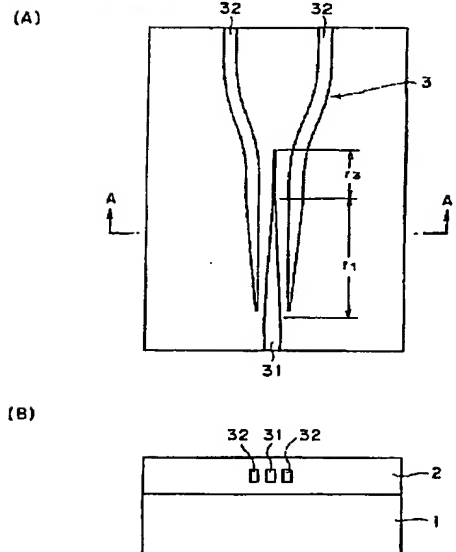
【図 10】

第 10 原理図及び第 10 実施形態



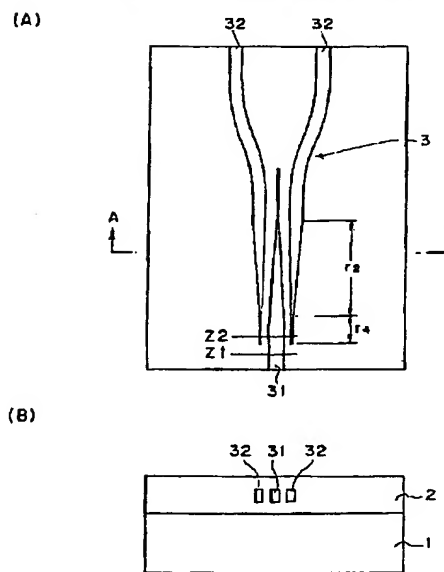
【図 3】

第 3 原理図及び第 3 実施形態



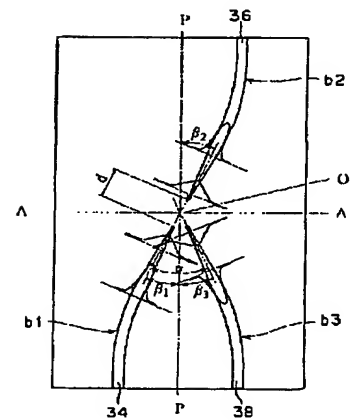
【図 4】

第 4 原理図及び第 4 実施形態



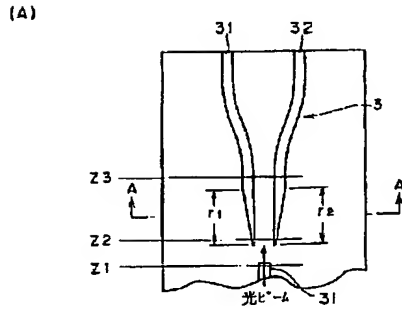
【図 11】

第 11 原理図



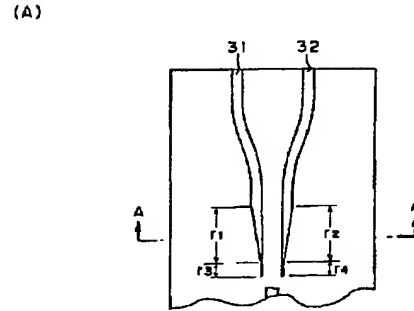
【図 5】

第 5 原理図及び第 5 実施形態



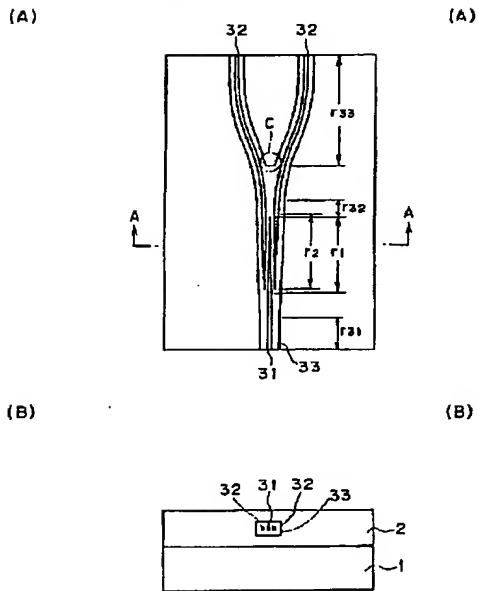
【図 6】

第 6 原理図及び第 6 実施形態



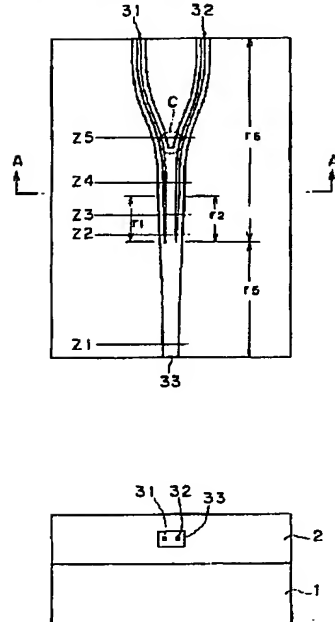
【図 7】

第 7 原理図及び第 7 実施形態



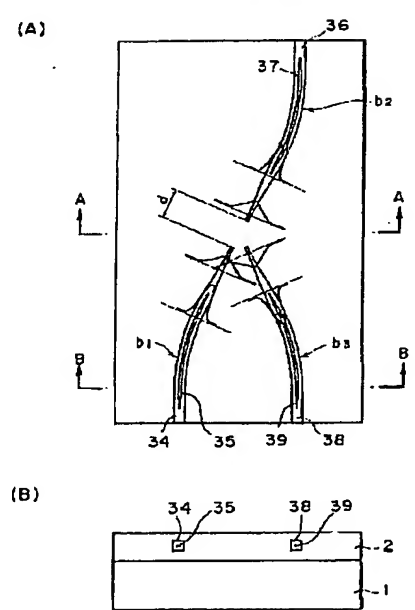
【図 8】

第 8 原理図及び第 8 実施形態



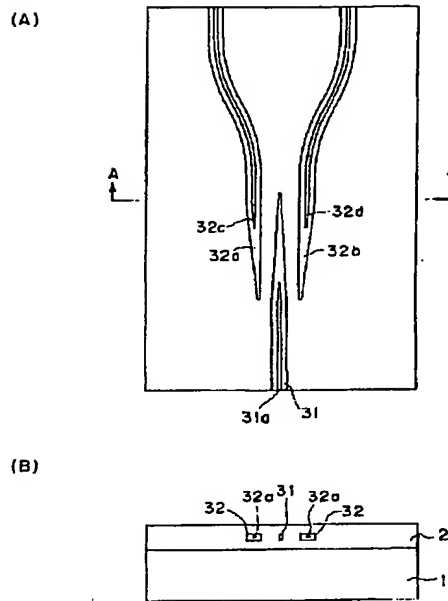
【図 13】

第 12 原理図



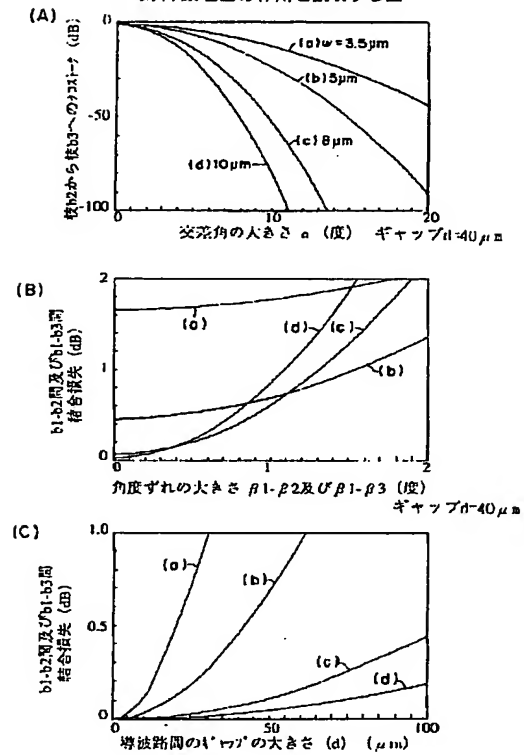
【図9】

第9原理図及び第9実施形態



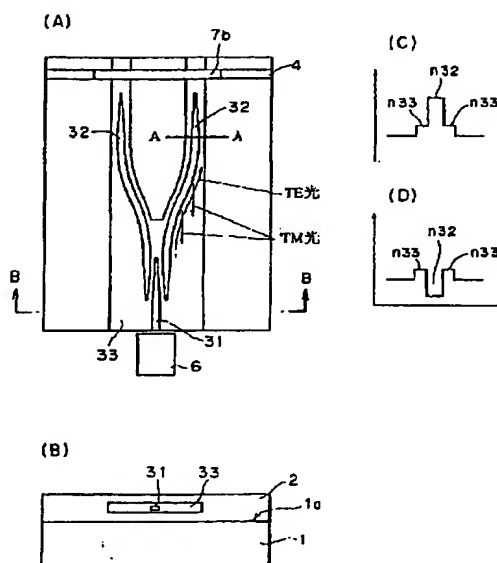
【図12】

第11原理図の作用を説明する図



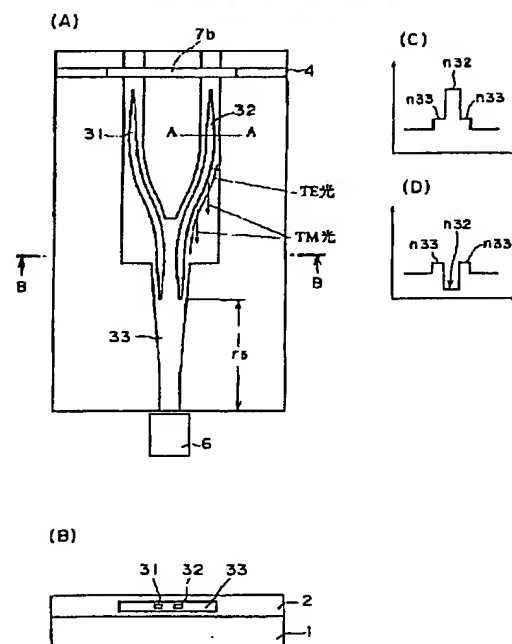
【図14】

第13原理図及び第11実施形態



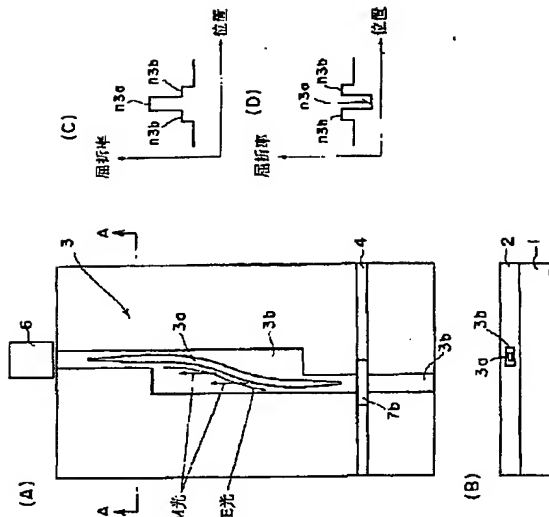
【図15】

第14原理図及び第12実施形態



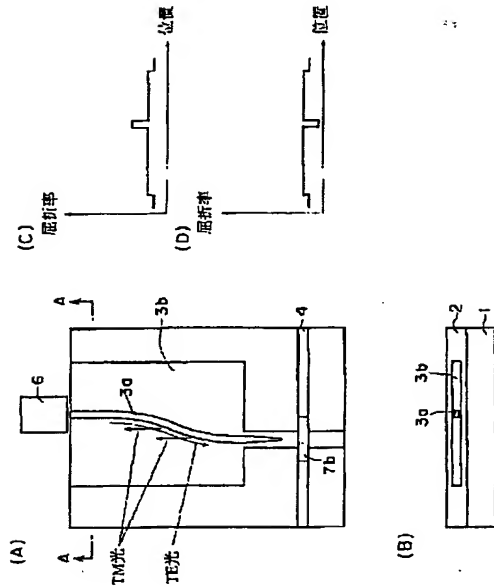
【図 16】

第 15 原理図及び第 13 実施形態



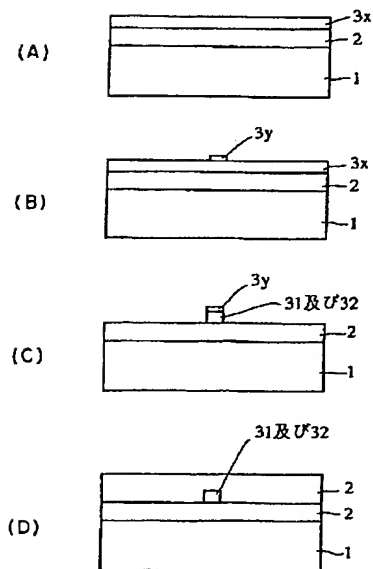
【図 17】

第 16 原理図及び第 14 実施形態



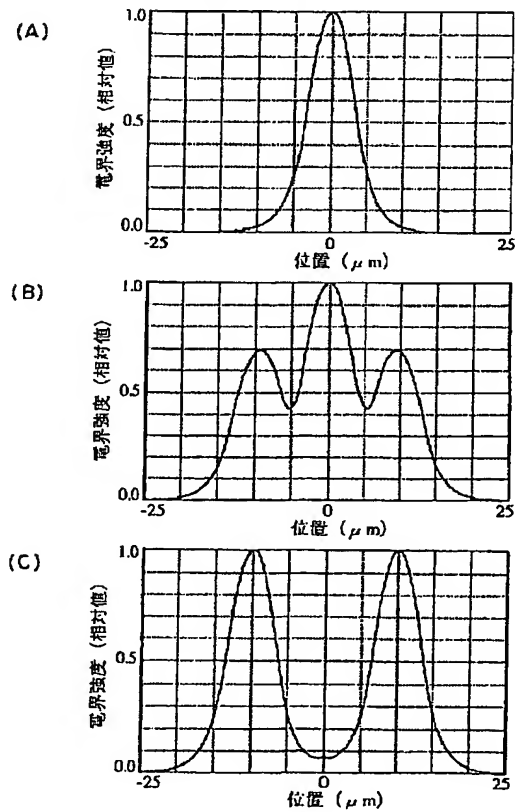
【図 18】

光導波路の製造工程



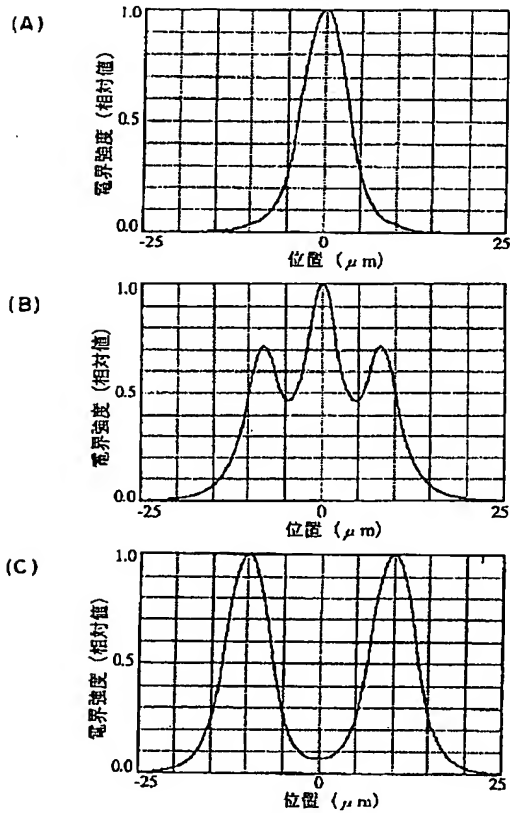
【図 20】

第 1 実施形態の光導波路に励振される導波モード



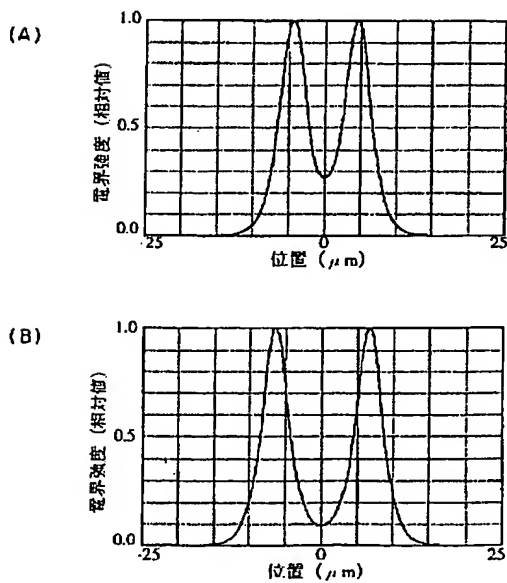
【図21】

第2実施形態の光導波路に励振される導波モード



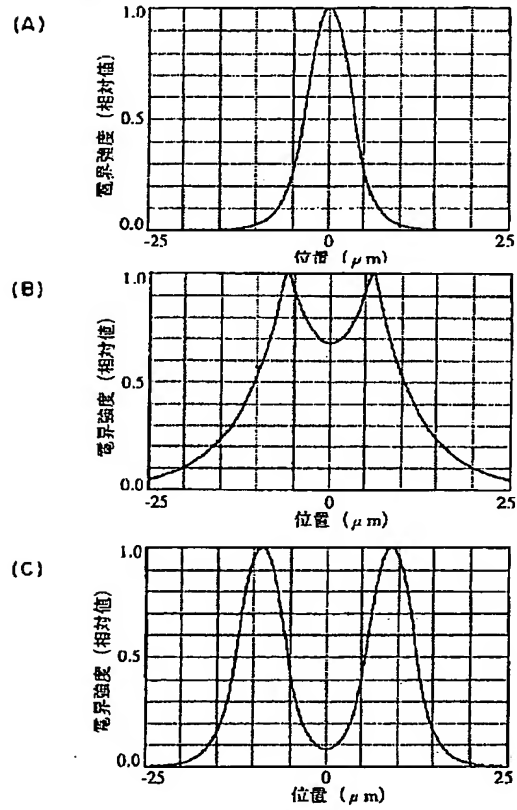
【図26】

第8実施形態の光導波路に励振される導波モード



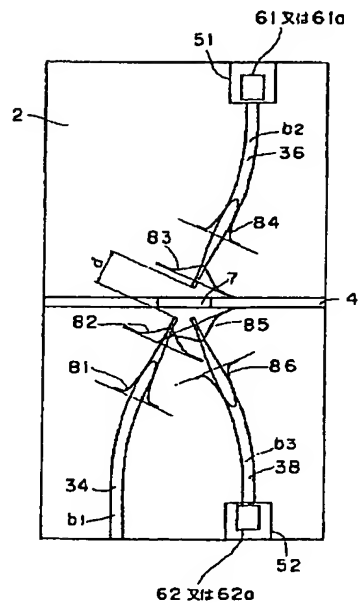
【図22】

第5実施形態の光導波路に励振される導波モード



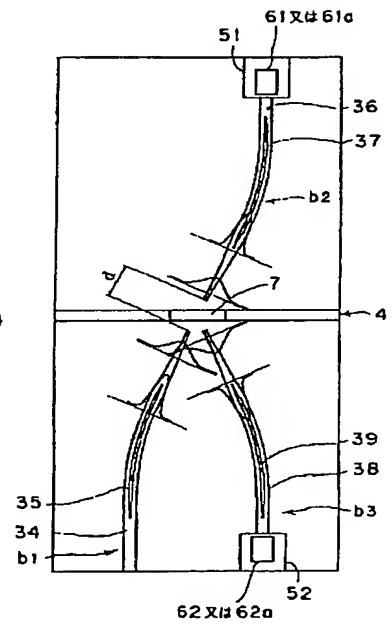
【図27】

第15実施形態



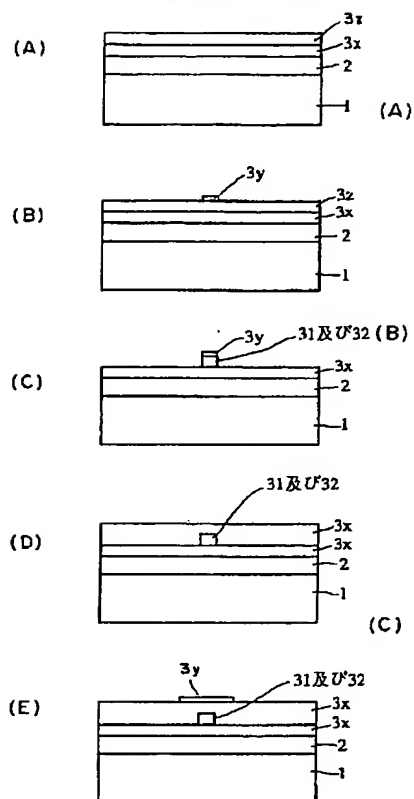
【図29】

第16実施形態



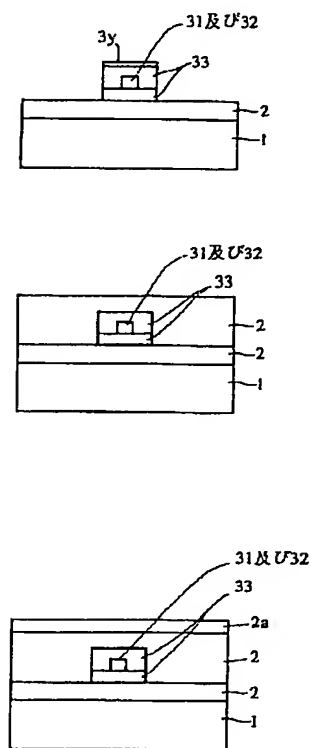
【図 23】

光導波路の製造工程



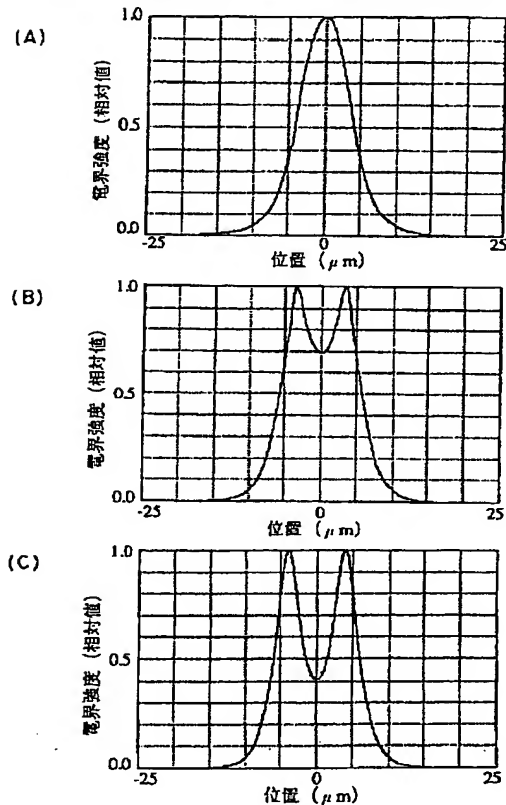
【図 24】

光導波路の製造工程



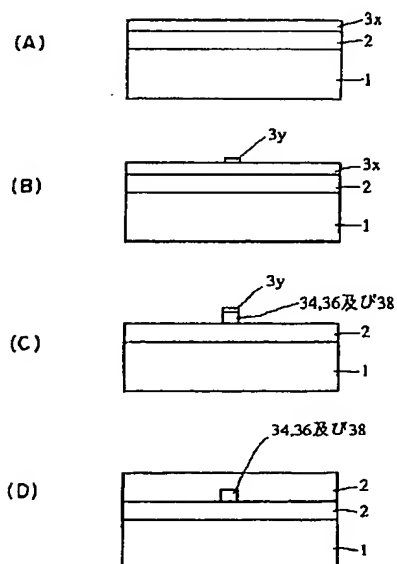
【図 25】

第 8 実施形態の光導波路に励振される導波モード



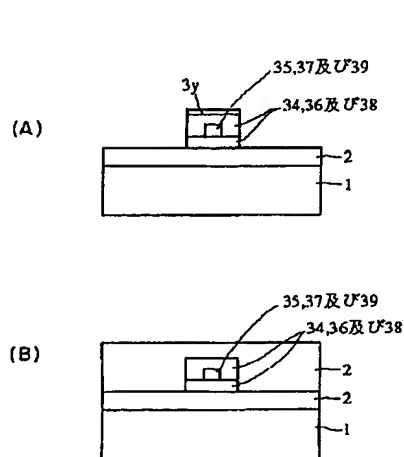
【図 28】

光導波路の製造工程



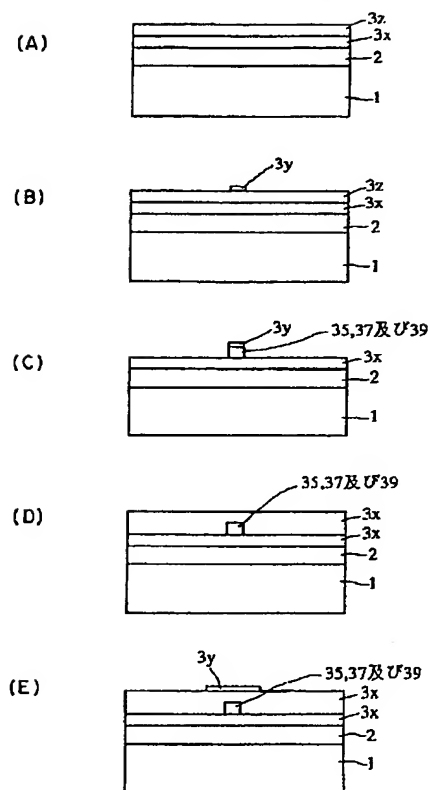
【図 31】

光導波路の製造工程



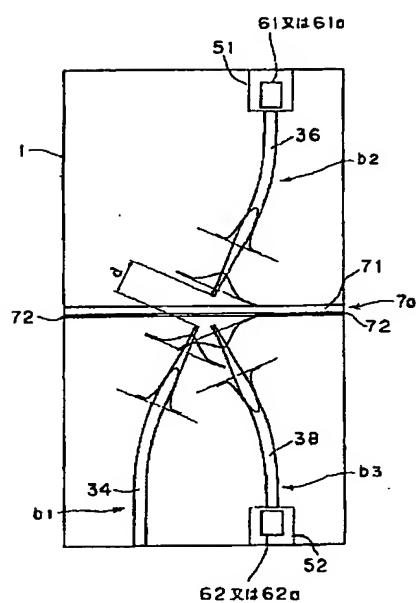
【図 30】

光導波路の製造工程



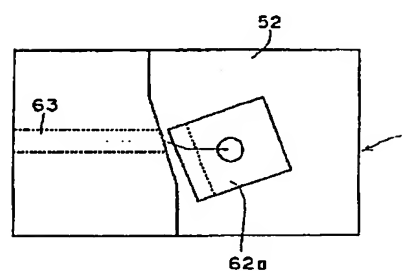
【図 3 2】

第17 实施形態



【图 3 4】

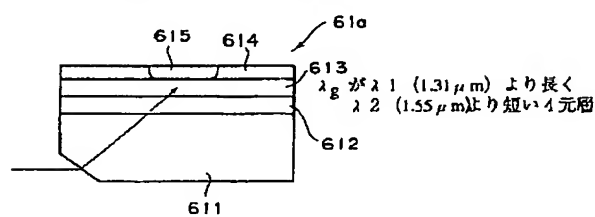
フォトダイオードの実装方法



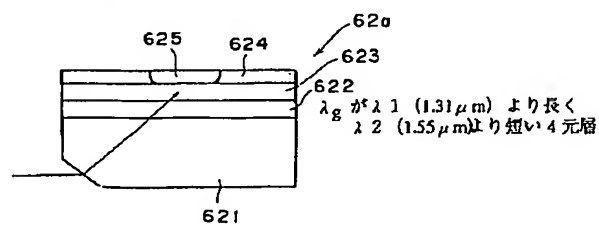
【図 3 3】

第15及び第16実施形態に用いるフォトダイオード

(A) 波長 λ 1 ($1.31 \mu\text{m}$) 受信用

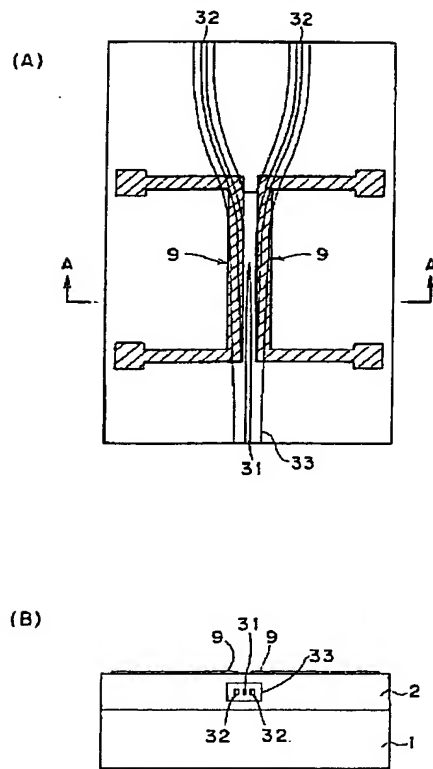


(B) 波長 λ 2 (1.55 μ m) 受信用



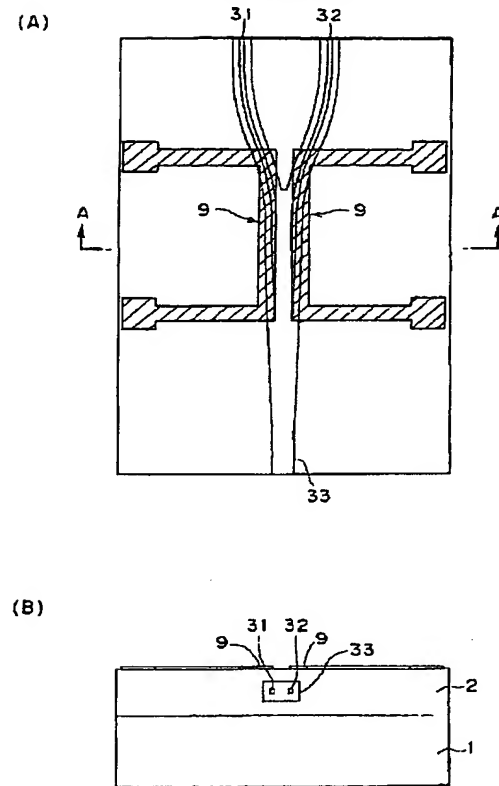
【図35】

第18実施形態



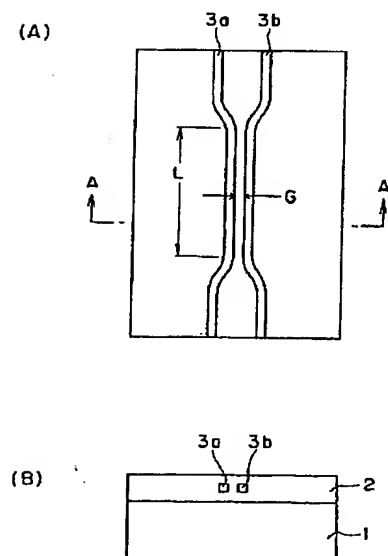
【図36】

第19実施形態



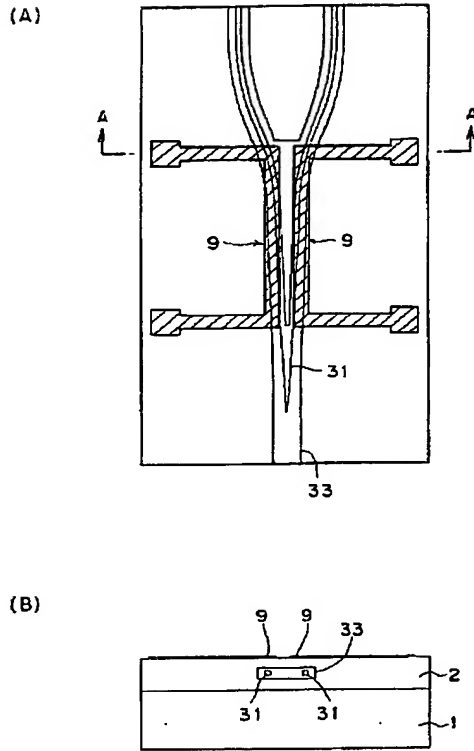
【図41】

第2従来例図



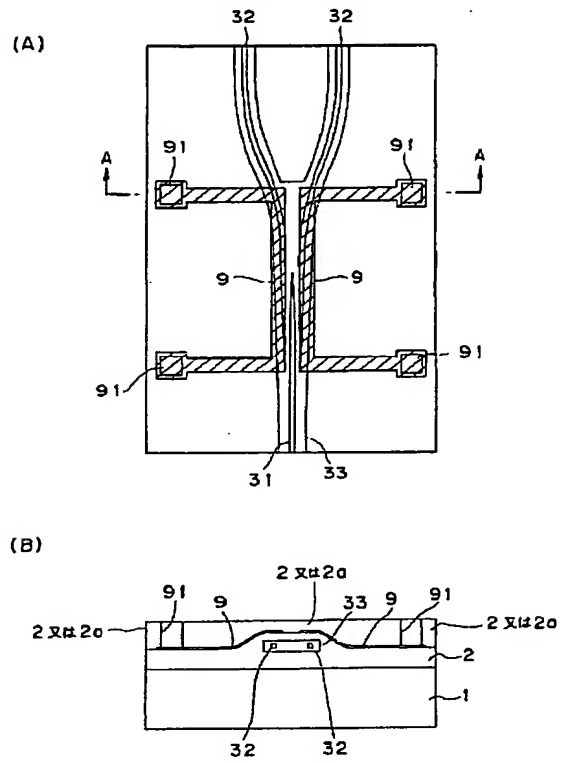
【図 37】

第20実施形態



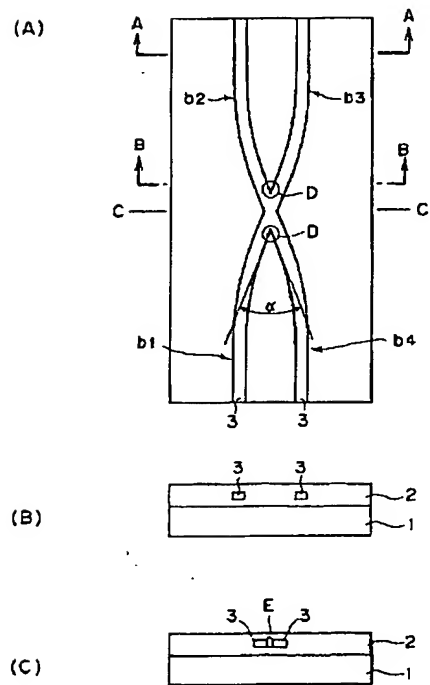
【図 38】

第21実施形態



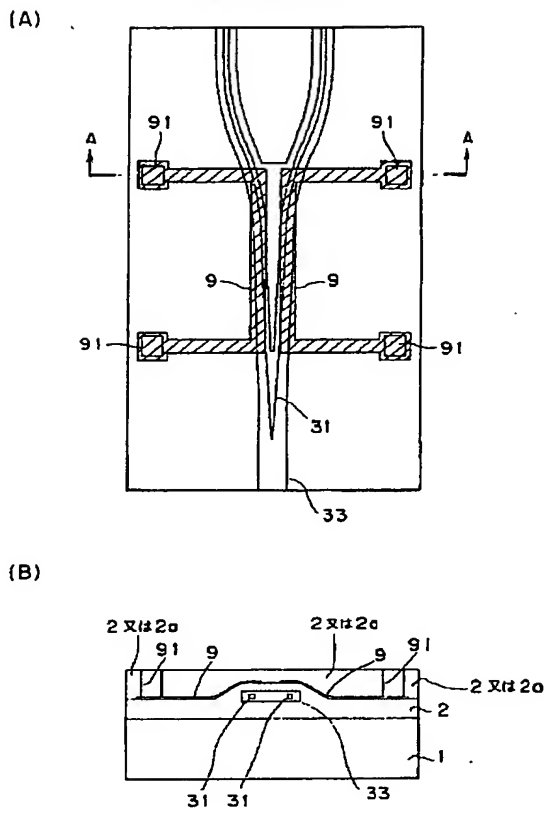
【図 42】

第3従来例図



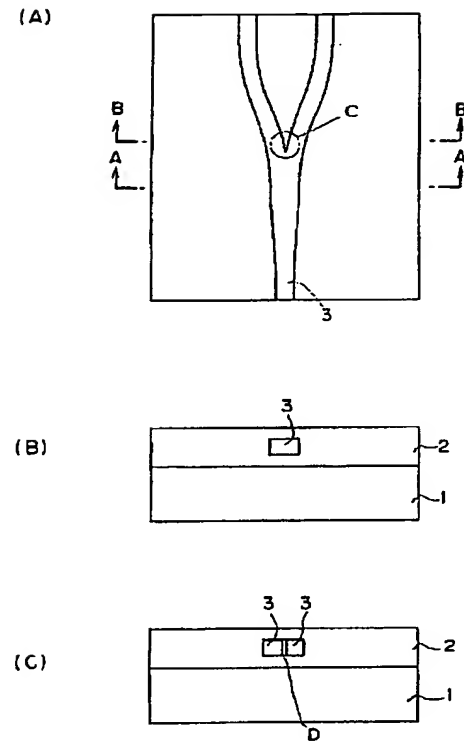
【図 39】

第22実施形態



【図 40】

第1従来例図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.